Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 22, No. 1, Spring 2024, p. 45-70

Evaluation of Physiological Growth Analysis of some Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Varieties under Different Moisture Levels in Spring and Summer Planting Dates at South Khorasan Region

F. Golestanifar[1], S. Mahmoodi[2,4*], H. R. Fallahi[2,4], A. Shahidi[3]

1- PhD Student of Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran
2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
3- Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
4- Plant and Environmental Stresses Research Group, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
(*- Corresponding Author Email: smahmoodi@birjand.ac.ir)

Received: 16 June 2023 Revised: 28 August 2023 Accepted: 30 August 2023 Available Online: 30 August 2023	**How to cite this article:** Golestanifar, F., Mahmoodi, S., Fallahi, H. R., & Shahidi, A. (2024). Evaluation of Physiological Growth Analysis of some Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Varieties under Different Moisture Levels in Spring and Summer Planting Dates at South Khorasan Region. *Iranian Journal of Field Crops Research, 22*(1), 45-70. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.82969.1255

Introduction

Deficit irrigation offers a solution for optimizing crop production under water stress conditions, albeit with an initial reduction in yield per unit area. Employing deficit irrigation aids in farm management in scenarios where land availability isn't constrained, enabling the determination of optimal cultivation patterns while conserving water consumption. However, deficit irrigation may influence plant growth and development by inducing drought stress. Due to several capabilities, quinoa shows resistance to solar radiation, temperature, water availability, and atmospheric CO_2 concentration, which makes it possible to cultivate it in different agricultural areas. Quinoa also has a great capacity for cultivation in dry and low-water soils. Although growth analysis sometimes provides valuable clues, it does not provide any physicochemical information related to the environmental reactions of plants; in other words, the main benefit of many quantities involved in growth analysis is to provide an accurate estimate of the ability and efficiency of the plant in the community at certain time intervals. In general, growth analysis evaluates the system based on the results of physiological manifestations. The purpose of this research was to evaluate the physiological growth analyses of three quinoa cultivars under different moisture levels in summer and spring planting dates in the South Khorasan region.

Materials and Methods

To evaluate the physiological traits of three quinoa cultivars under deficit irrigation conditions, four separate experiments were conducted using a factorial layout based on a randomized complete block design. These experiments included three replications and were carried out in two regions (Birjand and Sarbisheh) during two planting dates (March and July) in 2018-2019. The experimental factors consisted of five moisture levels (ranging from 25% to 125% of crop water requirement) and three quinoa cultivars (Titicaca, Giza1, and Redcarina). To compare the cultivars and assess the impact of humidity levels, several physiological indices—such as leaf area index (LAI), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR), and net assimilation rate (NAR)—were studied. Regression curves were fitted to the data from all four experiments separately, and

https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.82969.1255

separate analyses of variance were also performed for each sampling time.

Results and Discussion

The trend of changes in the leaf area index (LAI) showed that the time needed to reach the maximum LAI was observed between 106 to 107 days after emergence in March and between 73 to 76 days after emergence in July in Birjand, respectively. In Sarbisheh, the maximum LAI was observed on day 104 after emergence in March and between 65 to 72 days after emergence in July. In March, in both studied areas, Redcarina had the highest LAI values (4.5 in Birjand and 6.7 in Sarbisheh), along with the maximum crop growth rate (CGR) of 17.93 g m^{-2} day^{-1} in Birjand and 20.63 g m^{-2} day^{-1} in Sarbisheh. Conversely, in July, Giza1 exhibited the highest LAI (6.4 in Birjand and 6 in Sarbisheh), along with the maximum CGR of 19.32 g m^{-2} day^{-1} in Birjand and 18.11 g m^{-2} day^{-1} in Sarbisheh. Additionally, the highest relative growth rate (RGR) and net assimilation rate (NAR) at the beginning of the growing season in March were observed for Redcarina, while in July, Giza1 demonstrated the highest RGR and NAR in both studied areas. Considering the effect of humidity levels, the highest levels of LAI, CGR, RGR, and NAR indices were observed at the 125% water requirement level. Specifically, the maximum LAI values in March (in Sarbisheh and Birjand) and August (in Sarbisheh and Birjand) were 8.2, 5.3, 6.5, and 7.2, respectively. The maximum CGR values were 28.78, 23.56, 22.96, and 26.18 g m^{-2} day^{-1}, respectively. Furthermore, the highest RGR at the beginning of the growing season ranged from 0.189 to 0.214 g g^{-1} day^{-1}, and the highest NAR at the beginning of the growing season ranged from 6.16 to 10.22 g m^{-2} day^{-1}. Conversely, the lowest values of these indices were observed at the 25% water requirement level.

Conclusion

Overall, Redcarina, cultivated in March, and Giza1, cultivated in July, exhibited the most favorable growth analysis indices and grain yield compared to other cultivars. Additionally, deficit irrigation resulted in a decrease in all of these indices and grain yield.

Keywords: Adjusted deficit irrigation, Crop growth rate, Growth analysis, Net Assimilation rate

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۷۰-۴۵

ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) تحت تأثیر سطوح مختلف رطوبتی در کشت بهاره و تابستانه در منطقه خراسان جنوبی

فرزانه گلستانی‌فر[۱]، سهراب محمودی[۲، ۴*]، حمیدرضا فلاحی[۲، ۴]، علی شهیدی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸

چکیده

تاریخ کاشت کینوا بسته به ژنوتیپ، شرایط اقلیمی هر منطقه و همچنین دسترسی به آب، متفاوت می‌باشد، بنابراین بـه‌منظور ارزیـابی شـاخص‌های رشدی سه رقم کینوا تحت تأثیر سطوح رطوبتی، چهار آزمایش مجزا در دو منطقه (بیرجند و سربیشه) و دو تاریخ کاشت (اسـفند و مـرداد) در سـال‌های ۱۳۹۸-۹۹ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج سطح رطوبتی (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) و سه رقم کینوا (تیتیکاکا، گیزاوان و ردکارینا) بود. روند تغییرات شاخص‌های رشدی در طول فصل رشد مـورد ارزیـابی قـرار گرفت و تجزیه واریانس پس از برش‌دهی فیزیکی داده‌ها، به‌صورت جداگانه برای هر مرحله از نمونه‌برداری انجام شد. روند تغییرات شاخص سطح برگ سه رقم نشان داد که در تاریخ کاشت اسفندماه و مردادماه، زمان رسیدن به حداکثر LAI در شهرستان بیرجند به‌ترتیب بین ۱۰۶ الی ۱۰۷ و بین ۷۳ الی ۷۶ روز پس از سبزشدن و در شهرستان سربیشه به‌ترتیب در روز ۱۰۴ و بین ۶۵ الی ۷۲ روز پس از سبزشدن مشاهده شد. به‌طور کلی در اسفندماه در هر دو منطقه مورد مطالعه، رقم ردکارینا، دارای بیشترین مقادیر حداکثر LAI (۴/۵ در بیرجند و ۶/۷ در سربیشه) و حداکثر CGR (۱۷/۹۳ و ۲۰/۶۳ گرم بر مترمربع زمین در روز به‌ترتیب در بیرجند و سربیشه) بود و در مردادماه رقم گیزاوان بـالاترین میـزان حـداکثر LAI (۶/۴ در بیرجنـد و ۶ در سربیشـه) و حداکثر CGR (۱۹/۳۲ و ۱۸/۱۱ گرم بر مترمربع زمین در روز به‌ترتیب در بیرجند و سربیشـه) را بـه خـود اختصـاص داد. همچنـین بیشـترین RGR و NAR در ابتدای فصل رشد در کشت اسفندماه در هر دو شهرستان مورد مطالعه، متعلق به رقم ردکارینا و در کشت مردادماه، متعلق به رقم گیزاوان بود. در بررسی اثر سطوح رطوبتی نیز می‌توان بیان نمود که بالاترین میزان شـاخص‌های LAI، CGR، RGR و NAR در سـطح ۱۲۵ درصـد نیـاز آبـی مشاهده شد به‌طوری‌که حداکثر میزان شاخص LAI در کشت‌های اسفندماه سربیشه و بیرجند و مردادماه سربیشه و بیرجند به‌ترتیب برابـر بـا ۸/۲، ۵/۳، ۶/۵ و ۷/۲، حداکثر میزان CGR به‌ترتیب برابر با ۲۸/۷۸، ۲۳/۵۶، ۲۲/۹۶ و ۲۶/۱۸ گرم بر مترمربع زمـین در روز، بـالاترین میـزان RGR در ابتـدای فصل رشد به‌ترتیب ۰/۱۸۹، ۰/۱۸۶، ۰/۲۱۴ و ۰/۲۰۰ گرم بر گرم در روز و بالاترین میزان NAR در ابتدای فصل رشد به‌ترتیب ۶/۱۶، ۱۰/۲۲، ۷/۶۸ و ۹/۲۷ گرم بر مترمربع برگ در روز مشاهده شد. کمترین میزان شاخص‌های رشدی در تیمار کاربرد آبیاری به میزان ۲۵ درصد نیـازآبی مشـاهده گردیـد. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که بالاترین میزان شاخص‌های رشدی و بیشترین عملکرد دانه در کشت اسفندماه در هر دو شهرستان مورد مطالعه، متعلق به رقم ردکارینا و در کشت مردادماه، متعلق به رقم گیزاوان بود. اعمال کم‌آبیاری نیز موجب کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشدی و عملکرد دانـه در هـر چهار آزمایش گردید.

واژه‌های کلیدی: آنالیز رشد، سرعت جذب خالص، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، کم‌آبیاری تنظیم‌شده

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۴- عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: smahmoodi@birjand.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.82969.1255

مقدمه

تولیدکنندگان اصلی کینوا در جهان، بولیوی و پرو می‌باشند، به نحوی که در سال ۲۰۲۱ میلادی، سطح برداشت‌شده در بولیوی و پرو به‌ترتیب ۱۲۱۱۱۹ و ۶۸۱۶۷ هکتار و عملکرد به‌ترتیب ۳۲۰۳ و ۱۵۶۶۱ صدگرم در هکتار بود (FAO, 2023). درصد کشورهای عضو سازمان ملل برای آزمایش و کشت کینوا، در دو بازه‌ی زمانی افزایش یافت؛ مرحله اول در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ میلادی به دلیل انجام پروژه "آزمون آمریکایی و اروپایی کینوا[1]"و مرحله دوم به‌دلیل اعلام سال ۲۰۱۳ به‌عنوان سال جهانی کینوا (IYQ^2) از طرف مجمع عمومی سازمان ملل متحد، بود (Bazile, Jacobsen, & Verniau, 2016a). در منطقه آند، پنج اکوتیپ عمده کینوا (کوهستانی[3]، درّه‌ای[4]، مناطق‌شور[5]، مناطق‌گرم[6] و ساحلی[7]) در اطراف دریاچه تیتیکاکا قرار دارد (Ruiz *et al.*, 2014). کینوا به‌دلیل قابلیت‌های متعددی، در برابر تشعشعات خورشیدی، دما، فراهمی آب و غلظت CO_2 اتمسفر مقاومت از خود نشان می‌دهد که این امر، امکان کشت آن در مناطق مختلف کشاورزی را فراهم می‌کند (Reguera *et al.*, 2018) و همچنین کینوا دارای ظرفیتی فوق‌العاده جهت کشت در خاک‌های خشک و کم‌آب می‌باشد (Jacobsen, Liu, & Jensen, 2009).

کم‌آبیاری یک راهکار برای تولید بهینه محصول تحت شرایط کمبود آب است که عملی‌ترین و اولین پیامد آن کاهش محصول (در واحد سطح) است؛ کم‌آبیاری به نام‌ها و مفاهیم دیگری همچون آبیاری با کسر آب مصرفی، آبیاری ناقص[8]، آبیاری تنظیم‌شده[9]، آبیاری محدود[10] و آبیاری کمتر از نیاز آبی[11] نیز خوانده می‌شود؛ با به‌کارگیری روش کم‌آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب، می‌توان به مدیریت مزرعه در افزایش سطح زیر کشت (در حالت عدم محدودیت زمین) و تعیین الگوی کشت بهینه کمک نمود؛ اگرچه اعمال تکنیک کم-آبیاری، کاری سهل و آسان نیست، اما به‌عنوان یک راهکار اقتصادی سودمند در وضعیت بحران آب و با هدف حداکثر استفاده از واحد آب مصرفی، مطرح است در نتیجه به‌طور کلی می‌توان گفت که محاسن کم‌آبیاری از سه عامل کاهش هزینه‌های تولید، افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری و کاهش هزینه‌های مربوط به آن نشات می‌گیرد و درک اهمیت عوامل فوق در تابع هزینه‌ها از اهمیت اساسی برخوردار است (Shahidi, Kashkuli, & Zamani, 2008). کم‌آبیاری از طریق ایجاد تنش خشکی، ممکن است رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد (Oneto *et al.*, 2016).

مزیت عمده بسیاری از کمیت‌های دخیل در تجزیه و تحلیل رشد، فراهم آوردن تخمینی دقیق از کارایی گیاه در جامعه گیاهی و در فواصل زمانی معین است، به‌طور کلی، تجزیه و تحلیل رشد، سیستم را با تکیه بر نتایج حاصل از تظاهرات فیزیولوژیک، مورد ارزیابی قرار می‌دهد (Karimi & Azizi, 1997). شیرین‌نژاد و همکاران (Shirinnezhad, Torabi, & Mahmoudi, 2019) با بررسی سطح برگ چهار رقم کینوا (ساجاما، ردکارینا، تیتیکاکا، Q26 و Q29) بیان نمودند که رقم ساجاما بیشترین (۴۱۱ میلی‌مترمربع) و رقم Q29 کمترین سطح برگ (۱۲۴/۱۷ میلی‌مترمربع) را داشتند. در آزمایشی دیگر نیز سه رقم کینوا شامل تیتیکاکا، Q26 و Q29 مورد بررسی قرار گرفت و بیان کردند که رقم تیتیکاکا بیشترین میزان شاخص سطح برگ (۳/۸۸) را داشت و میزان این شاخص در ارقام Q26 و Q29 به‌ترتیب ۳/۵۱ و ۳/۱۵ بود که حاکی از برتری حدود ۱۴ درصدی رقم تیتیکاکا نسبت به Q26 و حدود ۱۹درصدی نسبت به Q29 است (Fazeli, Akbari, Akbari, Naderi Arefi, & Benakashani, 2021). کاکابوکی و همکاران (Kakabouki *et al.*, 2019) بیان نمودند که میزان سرعت رشد محصول کینوا رقم فارو در طول فصل رشد (۱۵۰ روز)، در شرایط شخم رایج و بازه‌های ۲۵ روزه پس از کاشت در سال ۲۰۱۲ به‌ترتیب ۹/۴۷، ۱۰/۴۶، ۷/۵۴، ۲/۱۹ و ۱/۶۴ گرم بر مترمربع در روز و درسال ۲۰۱۳ به‌ترتیب ۹/۳۵، ۸/۴۲، ۹/۲۷، ۱/۲۸ و ۱/۴۲ گرم بر مترمربع در روز، بود. کوکا (Koca, 2021) با بررسی کشت مخلوط کینوا و ذرت بیان نمود که در کشت خالص کینوا، میزان سرعت رشد نسبی در بازه‌های یک هفته‌ای در سال ۲۰۱۹ (۵ ژولای تا ۳۰ آگوست) به‌ترتیب ۰/۰۱۵، ۰/۰۲۱، ۰/۰۱۱، ۰/۰۲۱، ۰/۰۳۵، ۰/۰۲۰، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۱۲ گرم بر بوته و در سال ۲۰۲۰ (۱۴ ژولای تا ۸ سپتامبر) به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۷، ۰/۰۱۲، ۰/۰۴۱، ۰/۰۲۶، ۰/۰۲۷، ۰/۰۲۰، ۰/۰۲۳ و ۰/۰۱۷ گرم بر بوته بود. جمالی و همکاران (Jamali, Shaifan, & Sajadi, 2019) بیان نمودند که با افزایش میزان آب آبیاری، سطح برگ کینوا افزایش یافت ولی این روند افزایشی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. سان و همکاران (Sun, Liu, Bendevis, Shabala, & Jacobsen, 2014) نیز کاهش سطح برگ ارقام مختلف کینوا در شرایط تنش خشکی را گزارش نمودند. براساس گزارش سالک‌معراجی و همکاران (Salek Mearaji, Tavakoli, & Sepahvand, 2020) رقم Q29 کینوا در شرایط تنش خشکی دارای بالاترین میزان سطح برگ بود. سلیمانی (Soleymani, 2017)، با بررسی اثر سطوح آبیاری را بر سرعت رشد

1- American and European Test of Quinoa
2- International Year of Quinoa
3- Highland
4- Inter-Andean valley
5- Salares
6- Yungas
7- Coastal low lands
8- Partial irrigation
9- Regulated deficit irrigation
10- Limited irrigation
11- Deficit evapotranspiration irrigation

نسبی آفتابگردان گزارش نمود که میزان این شاخص ۵۵امین روز پس از سبزشدن در سطوح ۸۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ میلی‌متر به‌ترتیب ۰/۱۳۱۹، ۰/۱۱۷۴ و ۰/۱۱۱۸ گرم بر گرم در روز بود که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. در مطالعه‌ی دیگر، با افزایش تیمار تخلیه رطوبتی از ۲۰ به ۸۰ درصد ظرفیت زراعی سرعت جذب خالص در ذرت کاهش پیدا کرد، که کمترین میزان آن مربوط به تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی بود؛ در این تیمار به دلیل کمبود آب و کاهش جذب مواد غذایی، رشد گیاه و در نتیجه سرعت جذب خالص کاهش یافت (Haghjoo & Bahrani, 2015). هدف از این پژوهش، ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیکی و آنالیزهای رشد کینوا تحت تأثیر رقم و سطوح مختلف رطوبتی در کشت‌های تابستانه و بهاره‌ی استان خراسان جنوبی بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در دو مکان شهرستان بیرجند (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ دقیقه و ۱۳ درجه شرقی با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریاهای آزاد) و شهرستان سربیشه (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ دقیقه و ۸۰ درجه شرقی با ارتفاع ۱۸۳۹ متر از سطح دریاهای آزاد) و دو زمان (نیمه اول مردادماه و نیمه دوم اسفندماه) در سال‌های ۹۹-۱۳۹۸ اجرا گردید. خصوصیات آب، خاک و شرایط اقلیمی در هر دو زمان و مکان مورد مطالعه، در جداول ۱ و ۲ ارائه شد. در این تحقیق چهار آزمایش مجزا (مرداد و اسفند ماه در بیرجند و سربیشه) مورد بررسی قرار گرفت که هر یک از آن‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بودند. فاکتور اول شامل پنج سطح مختلف رطوبتی (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰و ۱۲۵ نیاز آبی گیاه) و فاکتور دوم شامل سه رقم کینوا (تیتیکاکا، گیزاوان و ردکارینا) بود. بذور ارقام گیزاوان و ردکارینا از موسسه اصلاح نهال و بذر کشور و بذور رقم تیتیکاکا از اداره جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی در سال ۱۳۹۸ تهیه شد. ارقام تیتیکاکا، گیزاوان و ردکارینا نسبت به طول روز بی‌تفاوت می‌باشند و امکان کشت بهاره، تابستانه و پاییزه آن‌ها وجود دارد. همچنین ارقام تیتیکاکا و گیزاوان جزو ژنوتیپ‌های زودرس و رقم ردکارینا جزو ژنوتیپ متوسطرس محسوب می‌شوند (Bagheri, 2018). ارقام تیتیکاکا و ردکارینا به‌ترتیب در تاریخ‌های ۱۴ دسامبر ۲۰۰۹ و ۳۱ ژانویه ۲۰۰۵ ثبت شده‌اند و به‌ترتیب بومی دانمارک و هلند بوده (Jacobsen, 2017) و رقم گیزاوان بومی مصر است (Bazile *et al.*, 2016b).

عملیات آماده‌سازی زمین در هر دو زمان و دو مکان، حداقل یک هفته قبل از کاشت صورت گرفت. بدین منظور ابتدا زمین توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده و سپس توسط دیسک، کلوخه‌ها خرد و زمین توسط لولر، تسطیح گردید. ابعاد هر کرت سه در چهار متر بود و یک متر فاصله بین کرت‌ها به‌عنوان اثر حاشیه‌ای و تعداد ۶۰ بوته در مترمربع به‌عنوان تراکم مطلوب کاشت کینوا (Samadzadeh, Zamani, & Fallahi, 2020) درنظر گرفته شد. پس از سبز شدن و رشد اولیه گیاهچه‌ها، دو مرحله تنک جهت رسیدن به تراکم مورد نظر صورت گرفت. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذور انجام شد. قبل از اعمال سطوح رطوبتی، آبیاری به‌صورت سنگین و پس از اعمال (مرحله ۶ الی ۸ برگ حقیقی)، براساس نیاز آبی کینوا بود. اعمال تیمار آبیاری بر اساس حجم آب آبیاری (هر هفت روز یکبار) انجام و از کنتور حجمی جهت اعمال دقیق سطوح مختلف آبیاری استفاده گردید. به منظور محاسبه نیاز آبی گیاه کینوا، در ابتدا تبخیر و تعرق مرجع (ETo) با استفاده از نرم‌افزار Cropwat Ver. 8.0 به روش فائو پنمن- مانتیث و براساس آمار هواشناسی در شهرستان‌های بیرجند و سربیشه، در طول بازه یک هفته‌ای برآورد گردید و سپس از ضرب نمودن عدد تبخیر و تعرق مرجع، در ضریب گیاهی (Kc) که براساس مرحله رشدی (ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی) و با استفاده از برآیند مطالعات مختلف به‌دست آمده بود، میزان تبخیر و تعرق کینوا (ETc) به‌صورت روزانه و برای سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی محاسبه گردید. سپس از طریق ضرب نمودن عدد برآوردشده در ضرایب ۱/۲۵، ۰/۷۵، ۰/۵۰ و ۰/۲۵، نیاز آبی گیاه کینوا به‌ترتیب در سطوح ۱۲۵، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی به‌صورت روزانه محاسبه شد که با ضرب این اعداد در طول بازه آبیاری، میزان آب آبیاری به‌دست آمد. باتوجه به این‌که روش فائو پنمن- مانتیث، روشی تجربی جهت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع بوده و براساس شرایط اقلیمی کشورهای اروپایی کالیبره گردیده است، لذا سطح ۱۲۵درصد نیازآبی، به‌منظور ارزیابی دقیق سطح ۱۰۰ درصد نیازآبی کینوا در اقلیم خشک استان خراسان جنوبی درنظر گرفته شد تا خطای ناشی از کم برآوردی میزان نیاز آبی کینوا (در سطح ۱۰۰٪) برطرف گردد. درنتیجه سطح ۱۲۵ درصد نیازآبی، معادل بیش‌آبیاری نمی‌باشد.

در طول فصل رشد، کنترل‌های مربوط به آفات، بیماری‌ها و مبارزه با علف‌های‌هرز صورت گرفت. نمونه‌برداری تخریبی به فاصله زمانی حدوداً ده روزه تا دوهفته‌ای در نیمه بالایی کرت (از ۵۰ سانتی‌متری بالای هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای) بر روی چهار بوته در هر کرت انجام شد؛ بنابراین در هر دو تاریخ کاشت، در شهرستان سربیشه، هفت مرحله و در شهرستان بیرجند، شش مرحله نمونه‌برداری صورت گرفت که تاریخ‌های نمونه‌برداری در کشت مردادماه سربیشه در ۳۴، ۴۵، ۵۴، ۶۵، ۷۶، ۸۷ و ۹۷ روز پس از سبزشدن، در کشت اسفندماه سربیشه در ۴۵، ۵۴، ۶۸، ۸۱، ۹۲، ۱۰۸ و ۱۲۳ روز پس از سبزشدن، در کشت مردادماه بیرجند در ۲۷، ۳۶، ۵۰، ۶۴، ۷۸ و ۹۲ روز پس از سبزشدن و در کشت اسفندماه بیرجند در ۵۵، ۶۶، ۷۶، ۸۹، ۱۰۰ و ۱۱۵ روز پس از سبزشدن بود.

جدول ۱- آزمایشات خاک و آب مناطق مورد مطالعه

Table 1- The results of soil and water tests in the studied areas

	مناطق Location	بافت خاک Soil pattern	فراوانی نسبی ذرات خاک Relative abundance of soil particles (%)			pH	EC (μS cm^{-1})	SAR (meq L^{-1})$^{0.5}$	Na	Mg	Ca	K available	P available	Organic carbon	Organic matter	Nitrogen
			Clay	Silt	Sand				(meq L^{-1})			(mg.kg^{-1})		(%)		(meq L^{-1})
خاک Soil	Birjand	Sandy loam	4	28	68	8.1	2.08	0.40	1.22	15	3.75	280	2.4	0.23	0.40	0.015
	Sarbisheh	Sandy loam	12	20	68	7.7	10.31	23.86	84.23	10	15	320	39.4	0.18	0.32	0.012

	مناطق Location	تاریخ کاشت Planting date	pH	EC (dS m^{-1})	SAR (meq L^{-1})$^{0.5}$	Na (meq L^{-1})	Mg (meq L^{-1})	Ca (meq L^{-1})	K (meq L^{-1})	Co_3^{2-} (meq L^{-1})	HCo_3^{2-} (meq L^{-1})	Cl^- (meq L^{-1})
آب Water	Birjand	5 March-اسفند	8.1	2.64	1.69	4.64	0.16	3.70	11.90	1.14	3.93	15.84
		8 August-مرداد	8.1	3.32	7.15	21.21	0.19	4.46	12.78	0.58	3.71	20.53
	Sarbisheh	8 March-اسفند	7.5	2.88	1.97	4.44	0.23	4.96	4.62	0.00	2.50	19.10
		27 July-مرداد	7.5	2.78	9.51	19.67	0.24	4.30	4.33	0.00	1.59	17.91

جدول ۲- برخی از مؤلفه‌های مهم اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی بیرجند و سربیشه

Table 2- Some important climate parameters of Birjand and Sarbisheh meteorological stations

مناطق Location	پارامترها Parameters		Spring planting dates تاریخ کاشت بهاره						Summer planting dates تاریخ کاشت تابستانه				
			اسفند Mar.	فروردین Apr.	اردیبهشت May	خرداد Jun.	تیر Jul.	مرداد Aug.	مرداد Aug.	شهریور Sep.	مهر Oct.	آبان Nov.	آذر Dec.
بیرجند Birjand	Minimum temperature (°C)	حداقل دما	2.29	7.45	12.31	15.74	19.46	19.93	19.6	12.48	5.89	2.09	1.13
	Maximum temperature (°C)	حداکثر دما	18.63	19.36	27.75	35.18	35.83	37.50	37.48	31.09	26.27	21.05	13.80
	Relative humidity (%)	رطوبت نسبی	30.60	58.13	34.50	16.11	16.02	16.25	16.54	22.47	18.45	29.20	51.60
	Wind speed (m s^{-1})	سرعت باد	3.69	4.08	3.80	3.99	4.82	4.06	4.97	3.79	3.42	2.70	2.79
	Sunshine hours	ساعت آفتابی	7.80	6.60	9.75	12.54	11.88	12.48	11.93	11.35	10.04	9.13	6.60
	Rainfall (mm)	بارندگی	0.21	3.90	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.00	0.08	0.03
سربیشه Sarbisheh	Minimum temperature (°C)	حداقل دما	0.76	4.38	9.17	14.03	16.88	17.89	17.12	11.21	5.84	-0.40	-
	Maximum temperature (°C)	حداکثر دما	15.34	16.43	24.85	31.19	31.64	32.86	32.08	29.71	25.86	17.44	-
	Relative humidity (%)	رطوبت نسبی	31.35	57.82	33.74	17.65	19.09	22.09	20.07	20.84	25.09	39.00	-
	Wind speed (m s^{-1})	سرعت باد	4.28	4.19	3.99	4.74	5.24	5.68	5.40	3.58	2.19	1.95	-
	Sunshine hours	ساعت آفتابی	7.08	5.48	9.35	11.94	11.25	11.89	12.15	11.25	9.76	8.26	-
	Rainfall (mm)	بارندگی	0.47	2.75	0.14	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	-

بوته‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل شده و برگ‌ها از ساقه جدا و توسط دستگاه سنجش سطح برگ مدل ΔT- windias3 سطح برگ آن‌ها برحسب سانتی‌مترمربع اندازه‌گیری شد. کل بوته‌ها درون دستگاه آون مدل Labcon با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، خشک و سپس به کمک ترازوی رقومی مدل AND, GR-200 با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین شدند و برخی از شاخص‌های رشدی کینوا از قبیل شاخص سطح برگ (LAI[1])، سرعت رشد محصول (CGR[2])، سرعت رشد نسبی (RGR[3]) و سرعت جذب خالص (NAR[4]) با استفاده از رابطه‌های (۱) تا (۴) برآورد گردید (Javadi, Rashed Mohassle, Zamani, Azari Nasrabad, & Mossavi, 2006).

$$LAI = LA/GA \quad (۱)$$

$$CGR = (W_2 - W_1)/(T_2 - T_1) \quad (۲)$$

$$RGR = (LnW_2 - LnW_1)/(T_2 - T_1) \quad (۳)$$

$$NAR = [(W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)] * [(LnLA_2 - LnLA_2)/(LA_2 - LA_1)] \quad (۴)$$

که در این رابطه‌ها، LA سطح برگ (مترمربع)، W وزن خشک گیاه (گرم)، T زمان نمونه‌برداری و GA سطح زمین (مترمربع) می‌باشد.

در این پژوهش با توجه به ماهیت برش‌دهی فیزیکی انجام‌شده بر روی زمان و مکان، آزمایشات تجزیه مرکب، انجام نگردید و تجزیه واریانس جداگانه برای هر مرحله از نمونه‌برداری در تمام شاخص‌های رشدی و همچنین عملکرد دانه کینوا انجام شد. جهت پردازش داده‌ها و محاسبات آماری از افزونه ماکرو DSAASTAT ver. 1.022 در نرم‌افزار Excel و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Sigma plot ver. 11.0 استفاده شد و میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار محافظت شده (FLSD) با سطح احتمال ۵٪ مقایسه شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI): روند تغییرات شاخص سطح برگ در هر دو زمان و هر دو مکان جهت مقایسه ارقام و ارزیابی تأثیر سطوح رطوبتی، رسم گردید. خطوط رگرسیون به نقاط برازش داده شد که با توجه به معنی‌داری رگرسیون (در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵) و ضریب تبیین (R^2) بالا (بین ۰/۹۲۱ تا ۰/۹۹۹ در تمامی تیمارها)، بهترین خطوط رگرسیون به کمک توابع گاووسی (گووسین ۳پارمتره) توجیه شد (شکل‌های ۱ و ۲). در هر تاریخ نمونه‌برداری، میزان LSD (P≤۰/۰۵) جهت تشخیص تفاوت معنی‌دار بین ارقام یا سطوح مختلف رطوبتی، در هر شکل نشان داده شد. نتایج تجزیه واریانس شاخص سطح برگ در طول فصل رشد در جدول۳ ارائه گردید. بایگی و همکاران (Baygi, Saifzade, Shirani Rad, Valadabad, & Jafarinejad, 2017) بیان نمودند که شاخص سطح برگ در ابتدای فصل رشد و با گذشت زمان افزایش یافته و پس از رسیدن به حداکثر خود، با افزایش سایه‌اندازی و کاهش نفوذ نور به درون تاج‌پوشش گیاهی، فعالیت فتوسنتزی کاهش یافته و به‌دلیل زرد شدن و ریزش برگ‌های پایین تاج‌پوشش گیاهی، روند کاهشی مشاهده شد.

روند تغییرات شاخص سطح برگ ارقام: با توجه به روند تغییرات شاخص سطح برگ می‌توان بیان نمود که در اسفندماه و مردادماه، زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ در شهرستان بیرجند به‌ترتیب بین ۱۰۶ الی ۱۰۷ و بین ۷۳ الی ۷۶ روز پس از سبزشدن و در شهرستان سربیشه به‌ترتیب در روز ۱۰۴ و بین ۶۵ الی ۷۲ روز پس از سبزشدن مشاهده شد که با توجه به بالاتر بودن درجه‌حرارت در بیرجند نسبت به سربیشه و همچنین گرم‌تر بودن هوا در مردادماه نسبت به اسفندماه، ارقام کینوا به‌دلیل تأمین زودتر نیاز حرارتی (GDD)، به حداکثر شاخص سطح برگ در تعداد روز کمتری پس از سبزشدن، دست یافتند (شکل ۱). حسینی و همکاران (Hosseini, RahemiKarizaki, Biabani, Nakhzari moghaddam, & Taliey, 2020) نیز بیان کردند که کینوا در تاریخ‌کاشت‌هایی که انتهای دوره رشد به فصول سرد سال برخورد کرد، خیلی سریع‌تر به حداکثر شاخص سطح برگ خود (۵۹ تا ۶۰ روز پس از کاشت در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۶۵ تا ۸۲ روز پس از کاشت در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷) رسید. به‌طور کلی در اسفندماه و در هر دو شهرستان مورد مطالعه، رقم ردکارینا، دارای بیشترین مقدار حداکثر شاخص سطح‌برگ (حدود ۴/۵ در بیرجند و ۶/۷ در سربیشه) و در مردادماه رقم گیزاوان در هر دو منطقه دارای بالاترین میزان این شاخص (حدود ۶/۴ در بیرجند و ۶ در سربیشه) بود (شکل ۱). این اختلاف در ارقام را می‌توان به پتانسیل ژنتیکی ارقام نسبت داد (Nadali, Asghari, Abbasdokht, Dorostkar, & Bagheri, 2022). چنین تفاوت‌هایی در شاخص سطح برگ و خصوصیات رویشی می‌تواند منجر به تغییرات عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف شود (Amer, Hassan, Ehsanullah, Shakeel, Mohsin, & Aziz, 2014). در مطالعه حسینی و همکاران (Hosseini *et al.*, 2020)، میانگین حداکثر شاخص سطح برگ براساس خط منحنی رگرسیونی در رقم تیتیکاکا مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت و ۳۰ مرداد (۷/۹) و حداقل آن در تاریخ کاشت ۲۹ اسفند (۲/۷) بود. اسفندیاری و فتوکیان (Esfandyari & Fotokian, 2021)، ارتباط بین ۲۱ صفت

1- Leaf Area Index
2- Crop Growth Rate
3- Relative Growth Rate
4- Net Assimilation Rate

ریخت‌شناسی در ۷۰ ژنوتیپ کینوا را بررسی نمودند، براساس نتایج آن‌ها، کمینه و بیشینه سطح برگ ارقام کینوا در بازه ۲/۳۵ الی ۳۶۶ سانتی‌مترمربع قرار داشت. در مطالعه دیگر با بررسی اثر کم‌آبیاری بر ۶ ژنوتیپ کینوا بیان نمودند که در سطح ۱۰۰ درصد ETc، کمترین سطح برگ با میزان ۳/۷۲ در رقم تیتیکاکا و بیشترین در لاین L119 با میزان ۵/۲۶ مشاهده شد (Fghire, Anaya, Ali Issa, & Wahbi, 2017). نادعلی و همکاران (Nadali *et al.*, 2022) با بررسی سه رقم کینوا عنوان نمودند که بین ارقام از لحاظ میزان شاخص سطح برگ اختلاف وجود داشت به نحوی‌که میزان این شاخص در ارقام تیتیکاکا، Q26 و Q29 به‌ترتیب ۲/۰۷، ۲/۷۸ و ۳/۳۵ بود. سالک‌معراجی و همکاران (Salek Mearaji *et al.*, 2020) گزارش نمودند که بیشترین شاخص سطح برگ در بوته در شرایط آبیاری مطلوب در ارقام Q29 و Redcarina مشاهده شد. سان و همکاران (Sun *et al.*, 2014) نیز در بررسی سطح برگ دو رقم تیتیکاکا و آچاچینو بیان نمودند که سطح برگ رقم تیتیکاکا (۳۰۰۲ سانتی‌مترمربع)، بسیار بالاتر از رقم آچاچینو (۱۷۵۲ سانتی‌مترمربع) بود.

اثر سطوح رطوبتی بر روند تغییرات شاخص سطح برگ: نتایج نشان داد که در اسفندماه، حداکثر شاخص سطح برگ در بیرجند و سربیشه به‌ترتیب در بازه ۱۰۴ تا ۱۰۸ و ۱۰۳ تا ۱۰۵ روز پس از سبزشدن و در مردادماه نیز در بیرجند و سربیشه به‌ترتیب در بازه ۷۴ تا ۷۶ و ۶۵ تا ۷۰ روز پس از سبزشدن مشاهده شد. بالاترین میزان این شاخص در سطح ۱۲۵درصد نیاز آبی مشاهده شد که میزان شاخص حدوداً در اسفندماه بیرجند، ۵/۳ و در سربیشه ۸/۲ و در مردادماه بیرجند، ۷/۲ و سربیشه ۶/۵ محاسبه گردید و کمترین آن نیز متعلق به تیمار ۲۵ درصد نیازآبی به میزان ۲/۶ و ۲/۸ به‌ترتیب در اسفندماه بیرجند و سربیشه و به‌ترتیب ۳/۱ و ۲/۱ در مردادماه بیرجند و سربیشه بود (شکل ۲). در تحقیقی دیگر بیان شد که عکس‌العمل شاخص سطح برگ تحت تیمارهای مختلف آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) در سه رقم کینوا در طی فصل رشد حاکی از آن است که با شدت یافتن تنش، شاخص سطح برگ با سرعت بیش‌تری افت کرد (Nadali *et al.*, 2022). دلیل کاهش میزان سرعت و گسترش سطح برگ در کانوپی گیاهی در زمان اعمال تنش خشکی به‌واسطه اختلال در فتوسنتز و کاهش آماس سلولی می باشد. یکی دیگر از دلایل افت سطح برگ در تیمارهای تنش به‌واسطه حساسیت بالای تقسیم سلولی و سرعت رشد سلول‌ها به کم‌آبی است (Nadeem, Imran, Kamil, & Husain, 2009). شریفیان و همکاران (Shaifan, Jamali, & Sajadi, 2018) با بررسی سه سطح رطوبتی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) بر کینوا گزارش نمودند که بیشترین سطح برگ در تیمار ۱۰۰٪ (۲۴/۸۸ سانتی‌مترمربع) مشاهده شد که با سطح ۷۵٪ اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین با میزان ۱۸/۶۷ سانتی‌مترمربع در تیمار ۵۰٪ بود. براساس گزارش افجی‌هایر و همکاران (Fghire *et al.*, 2015)، در آبیاری کامل بیشترین مقدار شاخص سطح برگ کینوا به میزان ۴/۵ در سال ۲۰۱۲ و ۶/۱۳ در سال ۲۰۱۱ و همچنین کمترین آن مربوط به تیمار دیم به میزان ۳/۸۷ و ۲/۷ در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ بود. در بررسی صادقی‌زاده و همکاران (Sadeghizadeh, Khajoei-Nejad, & Ghanbari, 2021)، پارامترهای رشد در دو مرحله مختلف از رشد گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) شامل مرحله رویشی و مرحله زایشی تعیین شد. براساس نتایج ایشان، شاخص سطح برگ در این دومرحله تحت تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) قرار نگرفت.

سرعت رشد محصول (CGR): روند تغییرات سرعت رشد محصول به تبع از شاخص سطح برگ، به کمک توابع گاوسی سه و چهار پارامتره بررسی شدند. سرعت رشد محصول با گذشت زمان افزایش یافته (به‌دلیل افزایش تعداد برگ‌ها، بزرگ شدن برگ‌ها و افزایش وزن ساقه) و پس از رسیدن به حداکثر، کاهش (به‌دلیل کاهش فتوسنتز خالص، کاهش مقدار شاخص سطح برگ و همچنین کاهش شدت تشعشع در آخر فصل، که خود تحت تأثیر افزایش تقاضا و پیری برگ‌هاست) و به صفر می‌رسد (Baygi *et al.*, 2017). در مطالعه‌ای دیگر (De Oliveira Vergara *et al.*, 2019) بیان شد که سرعت رشد کینوا بسته به مرحله رشدی متفاوت می‌باشد، به‌طوری‌که سرعت رشد کینوا تا ۳۰ روز پس از ظهور بسیار کند و از روز ۳۰ تا ۹۰ دارای سرعت رشد بیشتر و سپس کاهش می‌یابد. رامش و همکاران (Ramesh, Suneetha Devi, Gopinath, & Uma Devi, 2017)، سه تاریخ کاشت (۱۵ اکتبر، ۱ نوامبر و ۱۵ نوامبر) در کینوا را مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند میزان CGR در بازه‌های ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ و ۹۰- برداشت در تاریخ ۱۵اکتبر (معادل نیمه دوم مهر) به‌ترتیب ۵/۴، ۱۱/۷ و ۷ گرم بر مترمربع در روز، در ۱نوامبر (معادل نیمه اول آبان) به‌ترتیب ۵/۱، ۱۰/۴ و ۵/۳ گرم بر مترمربع در روز و در ۱۵نوامبر (معادل نیمه دوم آبان) به‌ترتیب ۴/۴، ۸/۶ و ۴/۴ گرم بر مترمربع در روز بود. براساس مطالعه سانودیا و همکاران (Sanodiya, Umesha, Mesharm, & Kumar, 2022)، میزان سرعت رشد محصول کینوا در بازه‌های ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰ و ۸۰ تا برداشت به‌ترتیب برابر ۱/۵۰، ۸/۶۴، ۲۸/۵۶ و ۴/۱۰ گرم بر مترمربع در روز بود.

روند تغییرات سرعت رشد محصول در ارقام کینوا: براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴)، در کشت اسفندماه و در هر دو منطقه مورد مطالعه، رقم ردکارینا بیشترین سرعت رشد محصول را به خود اختصاص داده بود به نحوی که در بیرجند، بالاترین میزان آن بین روزهای ۸۸ الی ۹۰ روز پس از سبزشدن و به میزان ۱۷/۹۳ گرم

بر مترمربع زمین در روز و در سربیشه بین ۹۲ الی ۹۴ روز پس از سبزشدن به میزان ۲۰/۶۳ گرم بر مترمربع زمین در روز مشاهده شد. در کشت مردادماه، در هر دو منطقه، بیشترین سرعت رشد محصول مختص رقم گیزاوان بود به‌طوری‌که بالاترین میزان آن در بیرجند و سربیشه به‌ترتیب بین ۶۵ الی ۶۷ و ۵۵ الی ۶۰ روز پس از سبزشدن و به‌ترتیب به میزان ۱۹/۳۲ و ۱۸/۱۱ گرم بر مترمربع زمین در روز به‌دست آمد (شکل ۳). بالا بودن سرعت رشد محصول در رقم ردکارینا در اسفند و گیزاوان در مرداد، به‌دلیل بالاتر بودن شاخص سطح برگ آن‌ها می‌باشد. سرعت رشد محصول رابطه مستقیمی با سطح فتوسنتزکننده دارد (Ozoni Davaji, Esfahani, Sami Zadeh, & Rabiei, 2008). حسینی و همکاران (Hosseini *et al.*, 2020) نیز در بررسی روند تغییرات سرعت رشد محصول کینوا در تاریخ‌های مختلف کاشت بیان نمودند که زمان رسیدن به حداکثر سرعت رشد محصول بین ۳۹ تا ۶۵ روز پس از کاشت متفاوت بود که در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد به بعد، در ۳۹ روز و ۱۵ اسفند به بعد، در ۶۵ روز به حداکثر سرعت رشد محصول خود دست پیدا کردند. در مطالعه واحدی و همکاران (Vahedi, Tohidi Nejad, & Pasandi Pour, 2021)، میزان سرعت رشد محصول در کینوا رقم تیتیکاکا، در فاصله کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی خط، ۵ سانتی‌متر (تقریباً مشابه با فواصل کشت مطالعه حاضر)، ۱۰/۶۸ گرم بر مترمربع در روز بود. کانسومجت و همکاران (Kansomjet *et al.*, 2017)، سرعت رشد محصول را در دو رقم کینوا بررسی نمودند و بیان کردند که دو رقم، دارای اختلاف معنی‌داری با یکدیگر بودند و میزان سرعت رشد محصول در ارقام وردس و مراداس به‌ترتیب ۱/۸۷ و ۱/۰۸ میلی‌گرم بر سانتی‌مترمربع در روز بود.

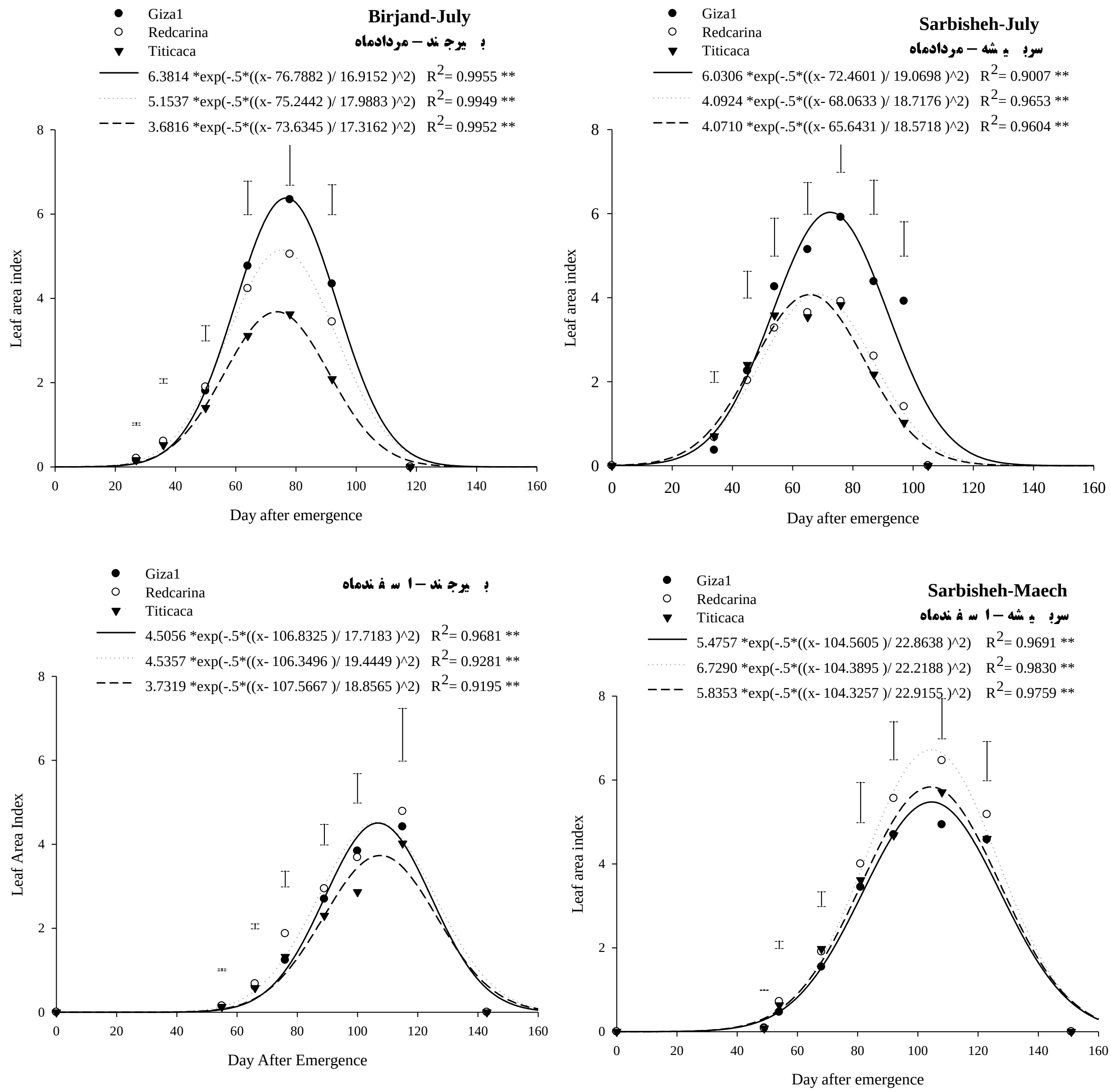
جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص سطح برگ (LAI) در طول فصل رشد در دو مکان و زمان

Table 3- Analysis of variance of Leaf area index (LAI) during the growing season in two locations and times

Location	Planting date	S.O.V	Df	LAI_1	LAI_2	LAI_3	LAI_4	LAI_5	LAI_6	LAI_7
				Sampling day (Day after emergence) روز نمونه‌برداری						
Birjand بیرجند	8 August مردادماه			27	36	50	64	78	92	-
		Block بلوک	2	0.0002 ^{ns}	0.054 ^{ns}	0.102 ^{ns}	0.624 ^{ns}	7.486 ^{ns}	0.308 ^{ns}	-
		Cultivar رقم	2	0.008 **	0.033 ^{ns}	1.036 *	10.717 **	10.748 **	19.402 **	-
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	0.0005 ^{ns}	0.058 *	3.606 **	12.866 **	26.142 **	12.120 **	-
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	0.0046 **	0.049 *	0.380 ^{ns}	2.240 ^{ns}	1.816 ^{ns}	0.694 ^{ns}	-
		Error خطا	28	0.0009	0.019	0.596	1.128	3.012	0.900	-
		CV (%) ضریب تغییرات		16.91	24.11	28.30	26.32	34.68	28.83	-
	5 March اسفندماه			55	66	76	89	100	115	-
		Block بلوک	2	0.0039 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.490 ^{ns}	0.151 ^{ns}	3.666 *	13.002 *	-
		Cultivar رقم	2	0.0018 ^{ns}	0.041 ^{ns}	1.777 **	1.578 *	4.117 *	2.196 ^{ns}	-
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	0.0009 ^{ns}	0.328 **	0.359 ^{ns}	2.255 **	10.676 **	11.336 **	-
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	0.0052 ^{ns}	0.023 ^{ns}	0.193 ^{ns}	0.516 ^{ns}	1.478 ^{ns}	1.879 ^{ns}	-
		Error خطا	28	0.0038	0.226	0.244 ^{ns}	0.425	0.856	2.777	-
		CV (%) ضریب تغییرات		43.43	24.20	33.45	24.65	26.73	37.82	-
Sarbisheh سربیشه	27 July مردادماه			34	45	54	65	76	87	97
		Block بلوک	2	0.042 ^{ns}	1.036 ^{ns}	4.827 ^{ns}	7/507 **	12.843 **	2.992 ^{ns}	5.863 *
		Cultivar رقم	2	0.506 *	0.523 ^{ns}	3.808 ^{ns}	12.122 **	20.924 **	20.586 **	37.014 **
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	0.088 **	26.142 *	16.713 **	21.743 **	32.885 **	13.941 **	7.280 **
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	0.169 ^{ns}	1.816 ^{ns}	3.419 *	2.741 *	4.410 *	2.798 *	1.622 ^{ns}
		Error خطا	28	0.111	0.736	1.465	1.004	1.581	1.171	1.213
		CV (%) (ضریب تغییرات		57.32	38.49	32.57	24.19	27.64	35.44	52.12
	8 March اسفندماه			49	54	68	81	92	108	123
		Block بلوک	2	0.0003 ^{ns}	0.312 **	1.110 *	3.465 ^{ns}	0.889 ^{ns}	3.223 ^{ns}	4.773 ^{ns}
		Cultivar رقم	2	0.0009 *	0.248 *	0.812 *	1.214 ^{ns}	3.799 ^{ns}	8.757 *	1.750 ^{ns}
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	0.0011 **	0.026 ^{ns}	1/698 **	14.696 **	24.896 **	42.681 **	25.553 **
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	0.0001 ^{ns}	0.040 ^{ns}	0964 **	1.792 ^{ns}	1.404 ^{ns}	1.052 ^{ns}	2.120۲ ^{ns}
		Error خطا	28	0.0002	0.054	0.213	1.634	1.459	1.629	1.533
		CV (%) () ضریب تغییرات		18.92	38.39	25.54	34.68	24.25	22.38	25.88

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.

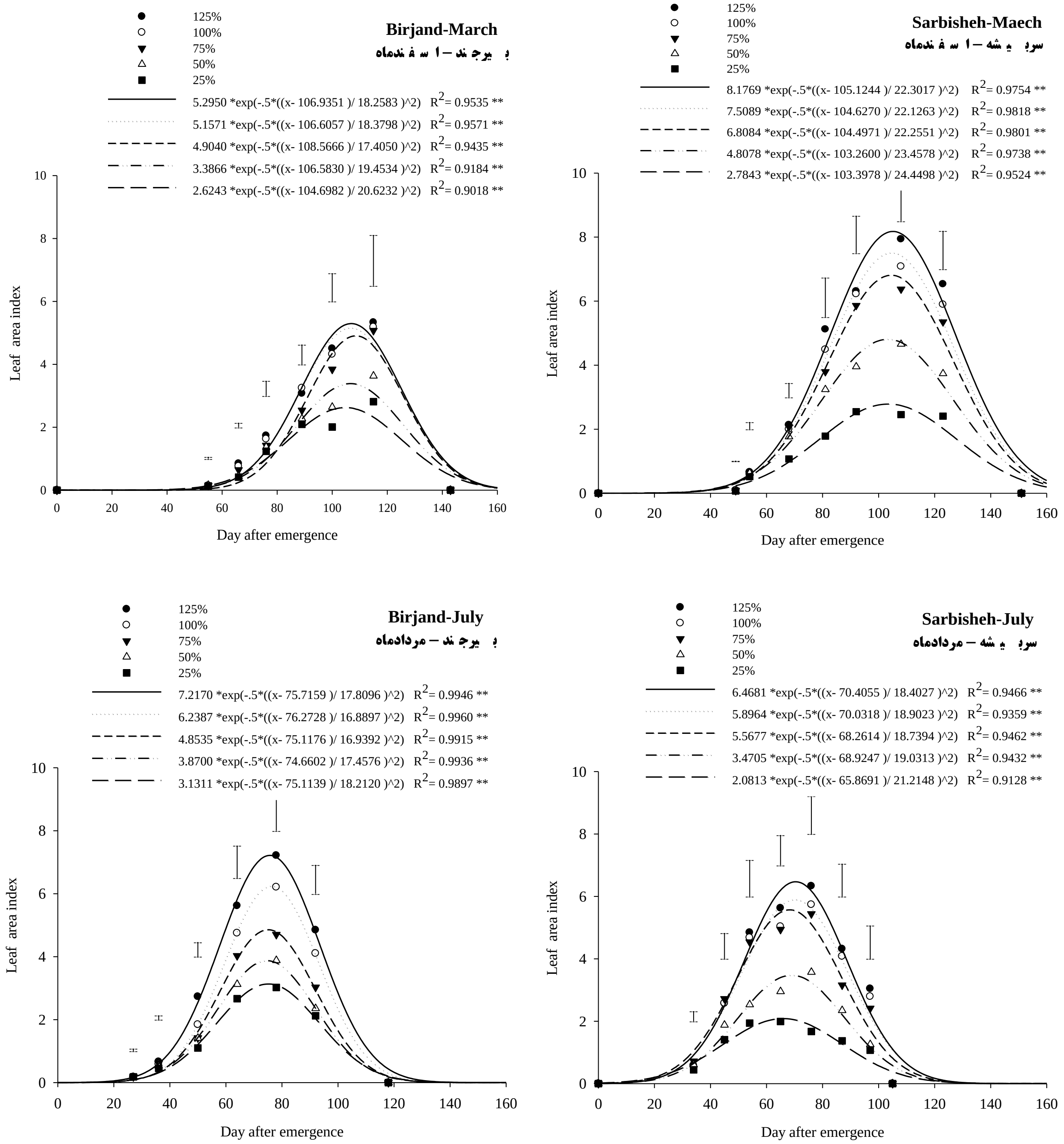


شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ ارقام کینوا در طول فصل رشد در دو مکان و دو زمان
(خطوط عمودی بالای هر مرحله نمونه‌برداری مقدار FLSD در سطح احتمال پنج درصد را نشان می‌دهد)

Figure 1- Leaf area index Changes of quinoa cultivars during the growing season in two location and times (Vertical lines on each sampling represent FLSD value at the 5% level)

اثر سطوح رطوبتی بر روند تغییرات سرعت رشد محصول: با توجه به نمودارهای رسم‌شده در شکل ۴، بالاترین میزان سرعت رشد محصول در هر دو منطقه و زمان کاشت، مربوط به تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی بود به نحوی که در این سطح رطوبتی، حداکثر میزان CGR در کشت‌های اسفندماه سربیشه و بیرجند و مردادماه سربیشه و بیرجند به‌ترتیب برابر با ۲۸/۷۸، ۲۳/۵۶، ۲۲/۹۶ و ۲۶/۱۸ گرم بر مترمربع زمین در روز بود، که اختلاف معنی‌داری با سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی نداشت و کمترین این صفت در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی مشاهده شد. صادقی‌زاده و همکاران (Sadeghizadeh *et al.*, 2021) بیان نمودند که سرعت رشد محصول کینوا در مرحله رویشی و زایشی، تحت تأثیر سطوح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) قرار نگرفت اما در مطالعه بحرینی‌نژاد و رزمجو (Bahreininejad & Razmjoo, 2014)، اثر تنش بر سرعت رشد

محصول معنی‌دار بود به‌ویژه در زمان حداکثر بودن شاخص (آغاز غنچه‌دهی)، که باعث کاهش میزان آن شد و با افزایش شدت تنش، روند کاهشی منحنی سرعت رشد، زودتر شروع و مقادیر آن منفی گردید. علت وقوع دیرتر سیر نزولی منحنی سرعت رشد محصول در تیمار عدم تنش براساس مطالعه کیبه و همکاران (Kibe, Singh, & Kalra, 2006)، به‌دلیل دسترسی بهتر گیاه بـه آب و موادغذایی و درنتیجه تلاش گیاه جهت گسترش تاج‌پوشش گیاه باشد.



شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ در سطوح مختلف رطوبتی در طول فصل رشد در دو مکان و دو زمان
(خطوط عمودی بالای هر مرحله نمونه‌برداری مقدار FLSD در سطح احتمال پنج درصد را نشان می‌دهد)

Figure 2- Leaf area index changes in different humidity levels during the growing season in two locations and times (Vertical lines on each sampling represent FLSD value at the 5% level)

جدول ٤- تجزیه واریانس شاخص سرعت رشد محصول (CGR) در طول فصل رشد در دو مکان و زمان

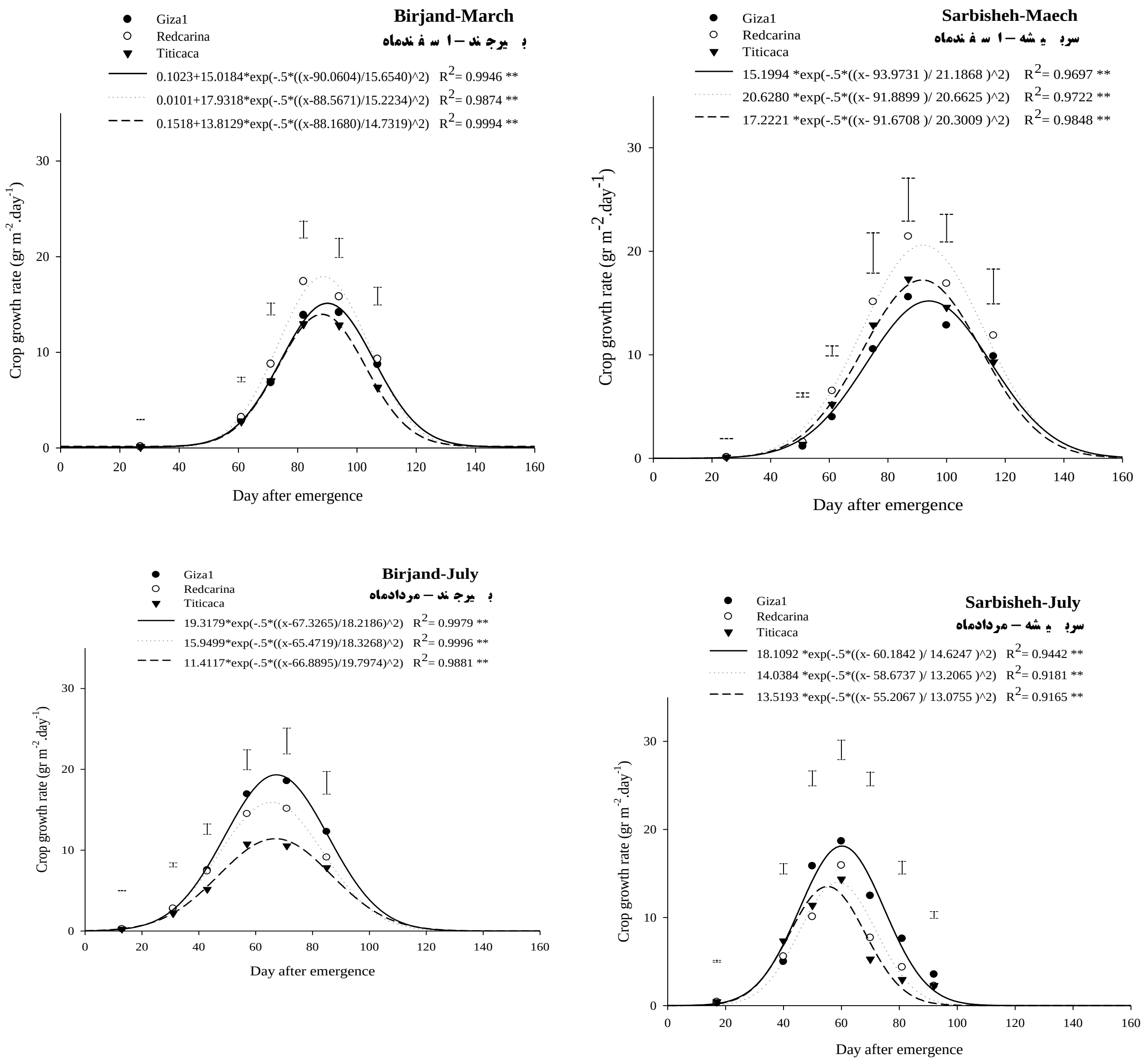
Table 4- Analysis of variance of Crop growth rate (CGR) during the growing season in two locations and times

Location	Planting date	S.O.V	Df	CGR1	CGR2	CGR3	CGR4	CGR5	CGR6	CGR7
				Sampling day (Day after emergence) روز نمونه‌برداری						
Birjand بیرجند	8 August مردادماه			13	31	43	57	71	85	-
		Block بلوک	2	0.071 **	3.431 **	5.007 ns	9.354 ns	13.415 ns	28.573 ns	-
		Cultivar رقم	2	0.007 ns	1.939 *	26.816 **	144.81 **	242.29 **	78.261 **	-
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	0.008 ns	3.531 **	83.038 **	398.90 **	472.34 **	202.03 **	-
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	0.005 ns	1.000 *	3.789 ns	24.785 ns	29.399 ns	15.816 ns	-
		Error خطا	28	0.008	0.390	3.115	10.823	17.558	13.733	-
		CV (%) ضریب تغییرات		37.85	24.44	26.39	23.40	28.45	28.06	-
	5 March اسفندماه			27	61	71	82	94	107	-
		Block بلوک	2	0.012 **	0.932 ns	0.675 ns	8.876 ns	3.317 ns	22.614 *	-
		Cultivar رقم	2	0.0007 ns	0.725 ns	17.415 **	82.327 *	33.592 *	37.236 **	-
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	0.0008 ns	7.119 **	74.832 **	193.65 **	446.78 **	22.490 *	-
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	0.0012 ns	1.023 *	5.834 ns	12.995 *	10.83 ns	6.556 ns	-
		Error خطا	28	0.002	0.362	2.574	5.665	7.044	5.987	-
		CV (%) ضریب تغییرات		37.93	20.53	21.33	16.15	18.61	30.20	-
Sarbisheh سربیشه	27 July مردادماه			17	40	50	60	70	81	92
		Block بلوک	2	0.160 **	0.435 ns	4.639 ns	25.811 ns	3.551 ns	7.683 ns	0.867 ns
		Cultivar رقم	2	0.296 **	22.264 **	136.79 **	71.396 **	200.90 **	85.142 **	8.325 **
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	0.011 ns	45.551 **	252.20 **	563.09 **	189.66 **	40.271 **	15.893 **
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	0.021 ns	5.450 ns	34.103 **	23.183 *	12.865 *	5.049 ns	1.792 ns
		Error خطا	28	0.011	2.432	5.165	8.530	4.442	3.737	0.948
		CV (%) ضریب تغییرات		31.05	26.16	18.28	17.91	24.87	38.92	36.38
	8 March اسفندماه			25	51	61	75	87	100	116
		Block بلوک	2	0.0004 ns	0.921 *	3.205 ns	82.266 ns	5.645 ns	30.711 ns	1.294 ns
		Cultivar رقم	2	0.0015 **	0.707 ns	24.012 **	78.678 ns	135.774 *	61.667 *	27.336 ns
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	0.0008 **	0.712 ns	21.237 **	292.34 **	803.50 **	439.90 **	131.82 **
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	0.0003 ns	0.091 ns	16.437 **	13.183 ns	30.489 ns	20.064 ns	6.397 ns
		Error خطا	28	0.0001	0.275	1.544	26.686	30.860	12.419	2.149
		CV (%) ضریب تغییرات		11.83	38.79	23.74	40.22	30.68	23.86	43.41

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.

سرعت رشد نسبی (RGR): سرعت رشد نسبی یک گیاه، معیاری از کارایی رشد آن گیاه است و بیانگر سرعتی از تولید بیوماس جدید به‌ازای بیوماس فعلی موجود در واحد زمان می‌باشد (Abtali, Baghestani, & Abtali, 2009). معادلات متعدد ریاضی جهت رسم بهترین نمودار مورد بررسی قرار گرفت. در این میان معادلات نمایی (Hosseini *et al.*, 2020) که ضریب تبیین آن‌ها در تیمارها بین ۰/۹۶۶ الی ۰/۹۹۷ متغیر بود و معادلات از لحاظ آماری معنی‌دار بودند، به‌عنوان بهترین توجیه‌کننده تغییرات، شناسایی شدند (شکل-های ۵ و ۶). نتایج تجزیه واریانس اثر رقم و سطوح رطوبتی بر سرعت رشد نسبی در جدول ۵ ارائه گردید. تغییرات RGR در تمام فصل رشد، بین تمامی ارقام و سطوح رطوبتی، روند نزولی داشت و در انتهای فصل رشد به یک نقطه ختم شدند. با افزایش سن گیاه بر بافت‌های ساختمانی گیاه افزوده می‌شود و این بافت‌های ساختمانی سهمی در رشد ندارند، به همین دلیل سرعت رشد نسبی با گذشت زمان و در نتیجه رشد گیاه و افزایش مقدار تنفس در اواخر فصل رشد منفی می‌گردد (Hosseini *et al.*, 2020). کاکابوکی و همکاران (Kakabouki *et al.*, 2019) میزان سرعت رشد نسبی کینوا را در شیوه شخم رایج و در بازه‌های ۵۰-۲۵، ۷۵-۵۰، ۱۰۰-۷۵، ۱۲۵-۱۰۰ و ۱۵۰-۱۲۵روز پس از کاشت به‌ترتیب ۰/۰۴۰۷، ۰/۰۲۱۴، ۰/۰۱۰۲، ۰/۰۰۲۷ و ۰/۰۰۱۹ گرم بر گرم در روز در سال ۲۰۱۲ و به‌ترتیب ۰/۰۴۰۹، ۰/۰۱۸۲، ۰/۰۱۳۶، ۰/۰۰۲۶ و ۰/۰۰۱۶ گرم بر گرم در روز در سال ۲۰۱۳، گزارش نمودند. در مطالعه‌ی دیگر و در تیمار شاهد، گزارش شد که میزان سرعت رشد نسبی در بازه‌های ۲۰ روزه پس از کاشت (۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰ و ۸۰-برداشت) به‌ترتیب ۰/۱۱۵، ۰/۱۱۰، ۰/۰۶۷ و ۰/۰۰۳۰ گرم بر گرم در روز بود (Sanodiya *et al.*, 2022).

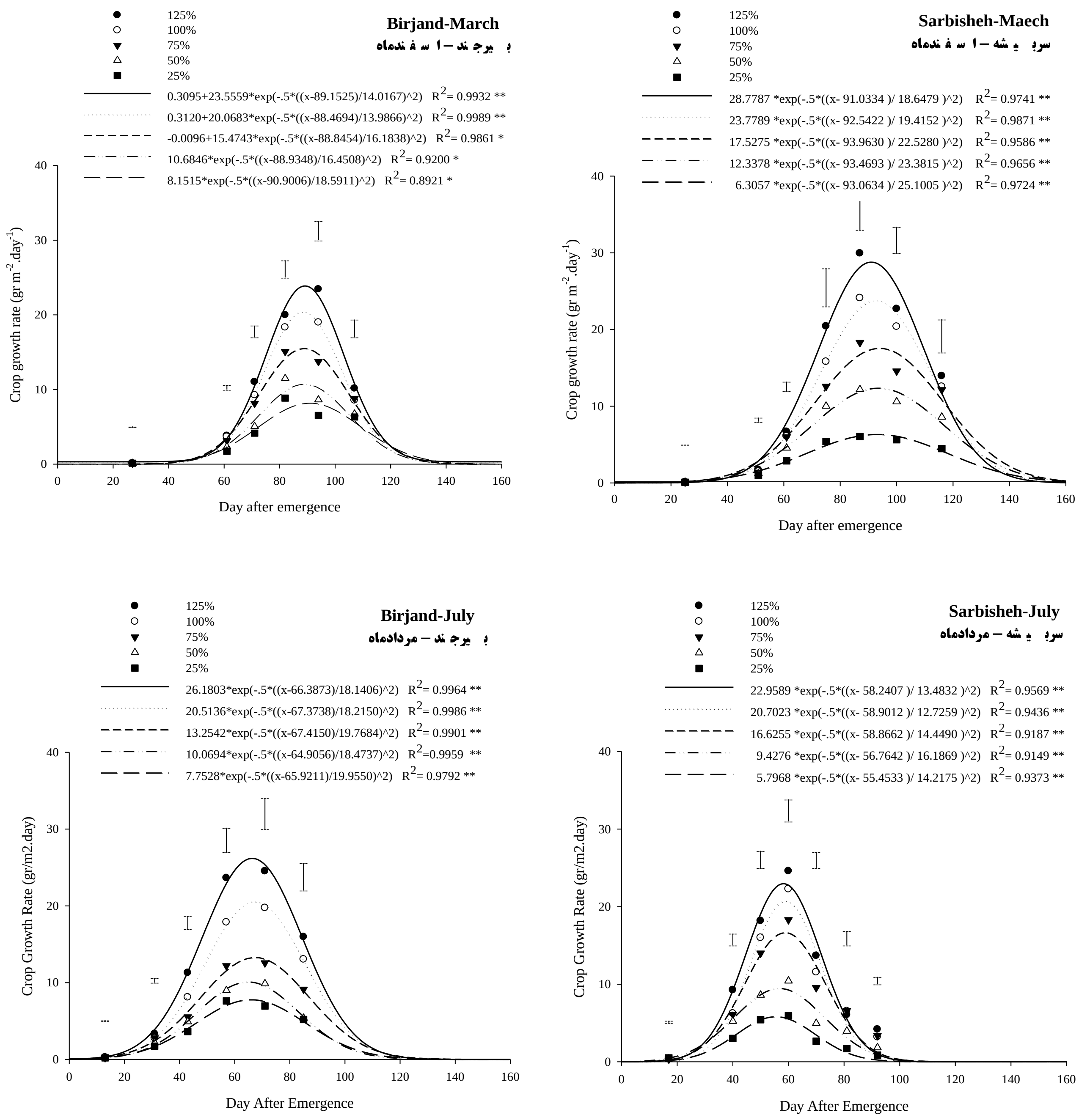


شکل ۳- روند تغییرات سرعت رشد محصول در ارقام کینوا در طول فصل رشد در دو مکان و دو زمان
(خطوط عمودی بالای هر مرحله نمونه‌برداری مقدار FLSD در سطح احتمال پنج درصد را نشان می‌دهد)

Figure 3- Crop growth rate Changes of quinoa cultivars during the growing season in two location and times (Vertical lines on each sampling represent FLSD value at the 5% level)

روند تغییرات سرعت رشد نسبی در ارقام کینوا: نتایج نشان داد که در کشت اسفندماه در هر دو شهرستان مورد مطالعه، رقم ردکارینا بیشترین RGR در ابتدای فصل رشد (۰/۲۰۱ و ۰/۱۷۲ گرم بر گرم در روز به‌ترتیب در سربیشه و بیرجند) را به خود اختصاص داد و با توجه به مقادیر LSD، در سربیشه، رقم ردکارینا تنها با رقم گیزاوان اختلاف معنی‌داری در صفت مورد مطالعه داشت و ولی در بیرجند اختلاف معنی‌دار با سایر ارقام مشاهده نشد. در کشت مردادماه، رقم گیزاوان دارای بیشترین RGR در ابتدای فصل رشد (۰/۲۰۴ و ۰/۱۸۴ گرم بر گرم در روز به‌ترتیب در سربیشه و بیرجند) بود که در سربیشه بین رقم گیزاوان با سایر ارقام اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ولی در بیرجند این اختلاف معنی‌دار نبود (شکل ۵). کانسومجت و همکاران (Kansomjet *et al.*, 2017) نیز اختلاف معنی‌داری بین ارقام کینوا در سرعت رشد نسبی مشاهده نمودند به نحوی که میزان این شاخص در رقم وردس، ۳۱/۸۰ و در رقم مراداس، ۲۳/۱۶

میلی‌گرم بـر گـرم در روز بـود. نتـایج مطالعـات روشـنی و همکـاران (Rowshani, Soleymani, Mahlooji, & Naderi, 2022) در گیاه جو و سلیمانی (Soleymani, 2017) در گیاه آفتـابگردان نشـان داد که اثر رقم بر سرعت رشد نسـبی در سـطح احتمـال یـک درصـد معنی‌دار بود و همچنین ارقامی که دارای سرعت رشد نسبی بـالاتری بودند، ماده خشک بیشتری نیز تولید نمودند. اما در مطالعه نواب‌پـور و همکـاران (Navabpour, Latifi, Hosseini, & Kazemi, 2012) گزارش شد که روند تغییرات سرعت رشد نسبی در همـه ارقـام گنـدم تقریباً مشابه بود و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد.



شکل ٤- روند تغییرات سرعت رشد محصول در سطوح مختلف رطوبتی در طول فصل رشد در دو مکان و دو زمان
(خطوط عمودی بالای هر مرحله نمونه‌برداری مقدار FLSD در سطح احتمال پنج درصد را نشان می‌دهد)

Figure 4- Crop growth rate changes in different humidity levels during the growing season in two locations and times (Vertical lines on each sampling represent FLSD value at the 5% level)

جدول ۵- تجزیه واریانس شاخص سرعت رشد نسبی (RGR) در طول فصل رشد در دو مکان و زمان

Table 5- Analysis of variance of Relative growth rate (RGR) during the growing season in two locations and times

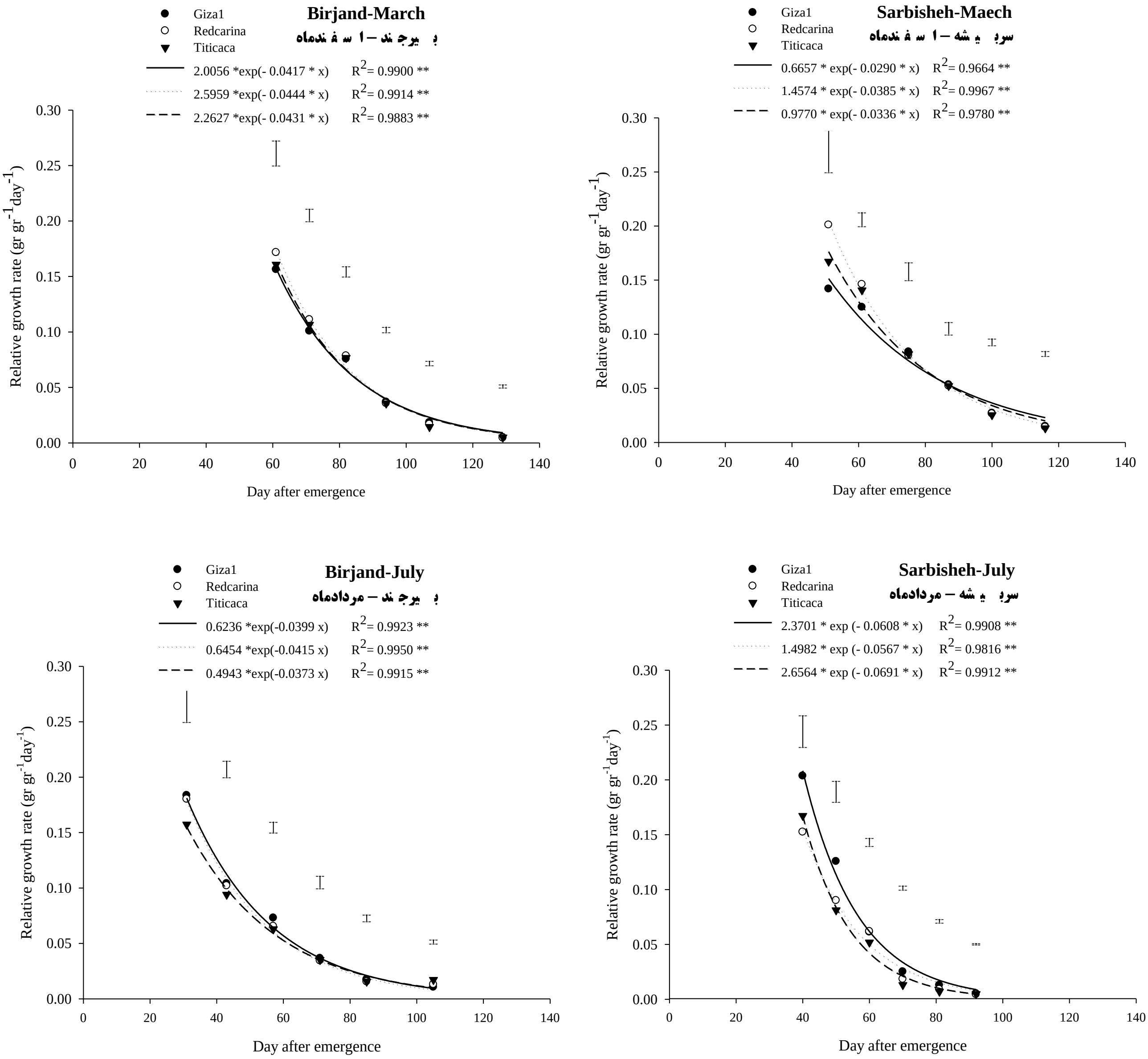
Location	Planting date	S.O.V	Df	RGR_1	RGR_2	RGR_3	RGR_4	RGR_5	RGR_6
				Sampling day (Day after emergence) روز نمونه‌برداری					
بیرجند Birjand	مردادماه 8 August			31	43	57	71	85	-
		Block بلوک	2	0.0035 ^{ns}	0.0010 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	8.97 E-5 ^{ns}	3.57 E-5 ^{ns}	-
		Cultivar رقم	2	0.0030 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	1.81 E-5 ^{ns}	1.82 E-5 ^{ns}	-
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	0.0038 ^{ns}	0.0017 **	0.0002 ^{ns}	2.94 E-5 ^{ns}	6.08 E-5 ^{ns}	-
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	0.0015 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	9.23 E-5 ^{ns}	1.20 E-4 ^{ns}	-
		Error خطا	28	0.0016	0.0004	0.0002	0.00022	6.59 E-5	-
		CV (%) ضریب تغییرات		23.46	19.87	19.70	41.63	50.18	-
	اسفندماه 5 March			61	71	82	94	107	-
		Block بلوک	2	0.0014 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.0006 *	2.80 E-5 ^{ns}	3.23 E-5 ^{ns}	-
		Cultivar رقم	2	0.0009 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	2.95 E-5 ^{ns}	6.53 E-6 ^{ns}	5.91 E-5 ^{ns}	-
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	0.0046 **	0.0007 *	0.0001 ^{ns}	0.00036 **	9.37 E-5 *	-
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	0.0010 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	6.08 E-5 ^{ns}	2.90 E-5 ^{ns}	-
		Error خطا	28	0.0009	0.0002	0.00015	4.07 E-5	2.76 E-5	-
		CV (%) ضریب تغییرات		18.59	13.88	16.08	17.70	31.83	-
سربیشه Sarbisheh	مردادماه 27 July			40	50	60	70	81	92
		Block بلوک	2	0.0050 *	3.3 E-5 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	6.79 E-7 ^{ns}	1.27 E-5 ^{ns}	1.84 E-6 ^{ns}
		Cultivar رقم	2	0.0104 **	0.0083 **	0.0005 *	0.00054 **	0.00013 **	2.89 E-6 ^{ns}
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	0.0125 **	0.0018 ^{ns}	0.0007 **	0.00013 **	2.71 E-5 ^{ns}	3.74 E-6 ^{ns}
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	0.0019 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.0003 *	4.30 E-5 ^{ns}	1.50 E-5 ^{ns}	5.84 E-6 ^{ns}
		Error خطا	28	0.0015	0.0007	0.00009	2.44 E-5	1.77 E-5	2.77 E-6
		CV (%) ضریب تغییرات		22.11	25.90	16.30	26.28	43.88	34.80
	اسفندماه 8 March			51	61	75	87	100	116
		Block بلوک	2	0.0038 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.0010 *	4.77 E-5 ^{ns}	1.01 E-5 ^{ns}
		Cultivar رقم	2	0.0132 *	0.0018 **	4.17 E-5 ^{ns}	6.98 E-6 ^{ns}	1.19 E-5 ^{ns}	1.18 E-5 ^{ns}
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	0.0023 ^{ns}	0.0008 *	0.00137 *	0.00047 ^{ns}	2.89 E-5 ^{ns}	1.42 E-5 ^{ns}
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	0.0014 ^{ns}	0.0019 **	0.00068 ^{ns}	0.00032 ^{ns}	7.41 E-5 ^{ns}	1.51 E-5 ^{ns}
		Error خطا	28	0.0027	0.0003	0.00049	0.00023	6.71 E-5	3.62 E-5
		CV (%) ضریب تغییرات (درصد)		30.60	12.52	26.95	28.84	31.13	42.60

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.

اثر سطوح رطوبتی بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی: به‌طورکلی و با توجه به شکل ۶ می‌توان بیان نمود که در تمامی مکان‌ها و زمان‌های مورد مطالعه، بالاترین میزان RGR در ابتدای فصل رشد در سطح ۱۲۵درصد نیاز آبی (۰/۱۸۹، ۰/۱۸۶، ۰/۲۱۴ و ۰/۲۰۰ گرم بر گرم در روز به‌ترتیب در اسفندماه سربیشه و بیرجند و مردادماه سربیشه و بیرجند) مشاهده شد. در ابتدای فصل رشد، در کشت اسفند و مرداد سربیشه، بین سطوح رطوبتی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تنش در مراحل اولیه، باعث توقف رشد گیاه و بلوغ سلول‌های ساقه می‌گردد که به دنبال آن بافت‌های ساختمانی کمتری تشکیل شد (Amiri Deh Ahmadi, Parsa, Nezami, & Ganjeali, 2011). با کاهش مقدار آب میزان تجمع مواد فتوسنتزی و سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد و افت قابل‌توجه سرعت رشد نسبی بیانگر کاهش ماده خشک‌شده در اثر کاهش رشد شاخ و برگ در مرحله رشد سبزینه‌ای است که می‌تواند یکی از علل کاهش عملکرد محصول باشد (Molden, Murry-Rust, Sakthivandival, & Makin, 2001). دادرسی و همکاران (Dadrasi, Aboutalebian, Ahmadvand, Mousavi, & Seyedi, 2012) بیان نمودند که سرعت رشد نسبی با افزایش سن گیاه کاهش یافت، در تیمار ۵۰ میلی‌متر تبخیر، میزان سرعت رشد نسبی با شیب کمتر نسبت به سایر تیمارهای دور آبیاری (۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر) کاهش یافت. به نظر می‌رسد که در تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر، رقابت برای کسب آب و عناصر غذایی در دوره زمانی بیشتری از فصل رشد ادامه داشت و در نتیجه میزان فتوسنتز خالص و در نهایت سرعت رشد نسبی کاهش بیشتری نسبت به تیمار۵۰ میلی-

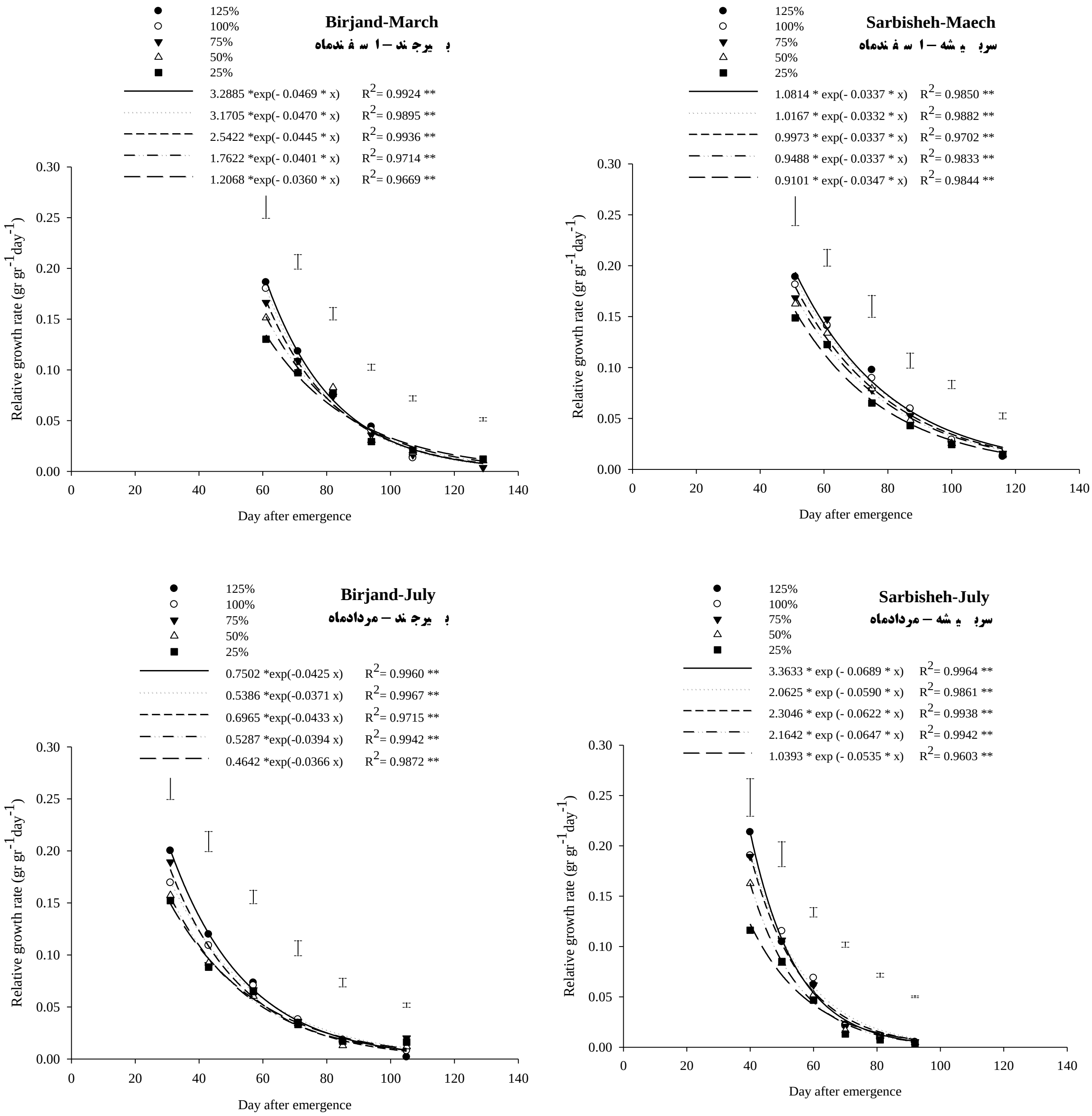
متر تبخیر که آب برای آن‌ها فراهم بوده، را داشتند. در مطالعه دیگر بیان شد، اگرچه میزان سرعت رشد نسبی در تیمار عدم تنش نسبت به دو تیمار دیگر بیشتر بود ولی این تفاوت معنی‌دار نبود. تفاوت قابل‌توجهی بین مقادیر موجود در سال اول و دوم در آزمایش آن‌ها مشاهده نشد و همچنین میزان حساسیت سرعت رشد نسبی به تنش رطوبتی در گیاه آویشن کوهی پایین بود (Bahreininejad & Razmjoo, 2014).



شکل ۵- روند تغییرات سرعت رشد نسبی در ارقام کینوا در طول فصل رشد در دو مکان و دو زمان
(خطوط عمودی بالای هر مرحله نمونه برداری مقدار FLSD در سطح احتمال پنج درصد را نشان می‌دهد)
Figure 5- Relative growth rate Changes of quinoa cultivars during the growing season in two locations and times. (Vertical lines on each sampling represent FLSD value at the 5% level)

سرعت جذب خالص (NAR): برازش معادله و ضرایب رگرسیونی نشان داد که تغییرات سرعت جذب خالص از معادلات لجستیک (سیگموئیدی) تبعیت می‌کند که روند آن برای هر دو زمان و مکان مورد مطالعه یکسان بود. در اوایل فصل رشد به علت جذب زیاد تشعشعات خورشیدی سرعت جذب خالص افزایش می‌یابد و در ادامه با افزایش میزان شاخص سطح برگ در گیاه، میزان سرعت

فتوسنتز خالص گیاه به دلیل افزایش میـزان سـایه‌اندازی برگ‌هـا بـر روی یکـدیگر کـاهش پیـدا کـرد (Hosseini *et al.*, 2020). میـزان سرعت جذب خالص با توجه آرایش برگ‌های گیاه و شرایط محیطـی برای گیاهان مختلف یکسان نیست؛ اما عمدتاً پیشروی رشد گیـاه بـه علـت سـایه‌انـدازی متقابـل بـرگ‌هـا و کـاهش رانـدمان فتوسـنتزی برگ‌های پیرتر، تنفس در برگ‌های پایینی یا فتوسـنتز در بـرگ‌هـای بالایی، به حال تعادل در می‌آیند به همین جهت سرعت جذب خالص به صفر سقوط می‌نماید (Rowshani *et al.*, 2022 به نقل از Abdi *et al.*, 2007).



شکل ٦- روند تغییرات سرعت رشد در ارقام کینوا در طول فصل رشد در دو مکان و دو زمان
(خطوط عمودی بالای هر مرحله نمونه‌برداری مقدار FLSD در سطح احتمال پنج درصد را نشان می‌دهد)

Figure 6- Relative growth rate changes in different humidity levels during the growing season in two locations and times. (Vertical lines on each sampling represent FLSD value at the 5% level)

روند تغییرات سرعت جذب خالص در ارقام کینـوا: بـه‌طور کلی در کشت اسفندماه رقم ردکارینا و در کشت مردادماه رقم گیزاوان از میزان سرعت جذب خالص بالاتری برخـوردار بودنـد امـا در تمـامی کشت‌ها، براساس نتایج تجزیه واریانس و میزان LSD قـرارداده شـده در هر نقطه از نمودارها، بین ارقام اختلاف معنی‌دار مشاهده نشـد کـه احتمالاً سرعت جذب خالص در ارقامی که دارای سطح برگ بیشـتری بودند، به‌دلیل سایه‌اندازی برگ‌هـای بـالایی بـر بـرگ‌هـای پـایینی، کاهش یافت و موجب عدم اختلاف بین ارقام گردید (شکل ۷ و جدول ۶). در مطالعـه‌ی کانسـومجت و همکـاران (Kansomjet et al., 2017)، اختلاف معنی‌داری بین ارقام کینوا در صفت مـذکور مشـاهده نشد. اما در مطالعه سلیمانی (Soleymani, 2017) اثر رقم بر حداکثر سـرعت اسیمیلاسـیون خـالص در سـطح احتمـال پـنج درصـد در آفتابگردان معنی‌دار بود و همچنین روشنی و همکـاران (Rowshani et al., 2022) نیز بیان نمودند که اثر رقم بر سرعت جذب خالص در گیاه جو، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در مطالعه دیگر نیز روند تغییرات سرعت جذب خالص در هر پنج رقم گندم، بررسی گردید و بیان نمودند که بالاترین سرعت جذب خالص در رقمی مشاهده شد که این رقم در بـین ارقـامی کـه بـالاترین سـطح بـرگ را بـه خـود اختصاص دادند، قرار نداشت ولی آرایش برگی مناسب و سرعت بالای رسیدن به حداکثر سطح برگ مطلـوب باعـث سـرعت جـذب خـالص بیشتر گردید (Navabpour et al., 2012).

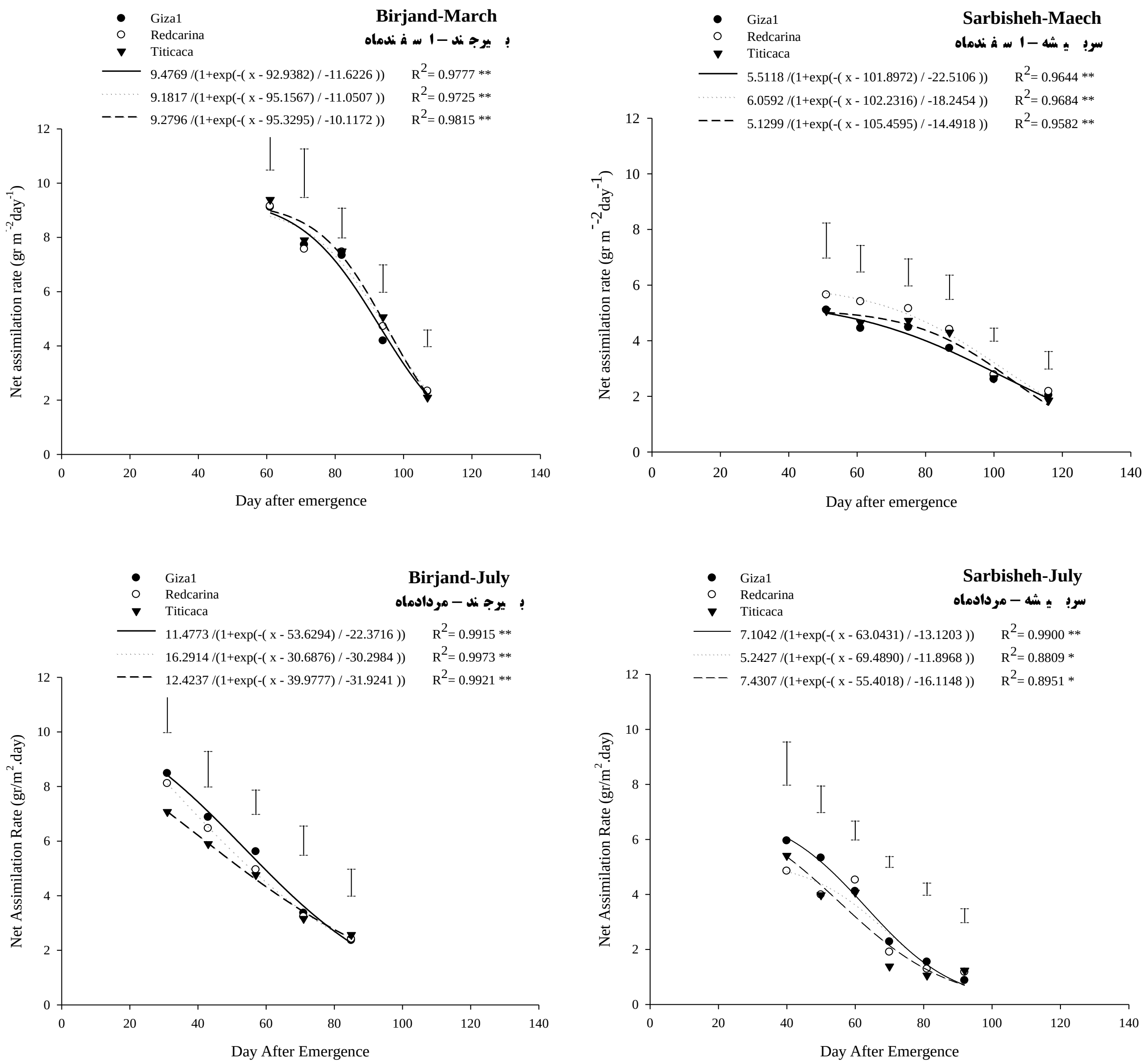
جدول ٦- تجزیه واریانس شاخص سرعت جذب خالص (NAR) در طول فصل رشد در دو مکان و زمان

Table 6- Analysis of variance of Net assimilation rate (NAR) during the growing season in two locations and times

Location	Planting date	S.O.V	Df	NAR_1	NAR_2	NAR_3	NAR_4	NAR_5	NAR_6
				Sampling day (Day after emergence) روز نمونه‌برداری					
Birjand بیرجند	8 August مردادماه			31	43	57	71	85	-
		Block بلوک	2	1.659 ns	2.232 ns	1.013 ns	1.634 ns	0.199 ns	-
		Cultivar رقم	2	8.011 ns	3.624 ns	2.998 ns	0.165 ns	0.276 ns	-
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	13.978 *	13.450 **	7.862 **	3.601 ns	1.860 ns	-
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	5.736 ns	1.464 ns	3.756 *	0.936 ns	2.444 ns	-
		Error خطا	28	3.810	3.054	1.427	2.061	1.746	-
		CV (%) ضریب تغییرات		24.75	27.26	23.38	44.18	54.04	-
	5 March اسفندماه			61	71	82	94	107	-
		Block بلوک	2	6.094 ns	2.960 ns	5.674 ns	3.507 ns	0.008 ns	-
		Cultivar رقم	2	0.343 ns	0.414 ns	0.103 ns	2.896 ns	0.265 ns	-
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	11.755 *	21.093 *	18.092 **	19.412 **	0.575 ns	-
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	5.577 ns	3.078 ns	0.355 ns	1.625 ns	0.794 ns	-
		Error خطا	28	3.590	5.685	2.184	1.813	0.655	-
		CV (%) ضریب تغییرات		20.56	30.85	19.89	28.92	36.00	-
Sarbisheh سربیشه	27 July مردادماه			40	50	60	70	81	92
		Block بلوک	2	4.374 ns	3.373 ns	1.784 ns	0.912 ns	0.011 ns	0.769 ns
		Cultivar رقم	2	4.532 ns	9.031 *	0.940 ns	3.036 **	0.0899 ns	2.873 **
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	16.214 *	4.687 *	4.916 **	1.600 **	0.439 ns	0.150 ns
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	3.392 ns	1.328 ns	2.789 **	0.402 ns	0.494 ns	0.506 ns
		Error خطا	28	4.409	1.675	0.848	0.294	0.347	0.444
		CV (%) ضریب تغییرات		38.86	29.21	21.74	29.25	45.50	52.83
	8 March اسفندماه			51	61	75	87	100	116
		Block بلوک	2	0.990 ns	3.496 ns	3.866 ns	3.053 ns	0.487 ns	0.218 ns
		Cultivar رقم	2	1.577 ns	3.838 ns	1.760 ns	2.005 ns	0.106 ns	0.390 ns
		Moisture levels سطوح رطوبتی	4	4.367 ns	4.228 ns	6.566 *	8.084 **	2.044 **	0.091 ns
		C× M رقم × سطوح رطوبتی	8	3.864 ns	6.278 **	1.931 ns	2.887 ns	0.464 ns	0.357 ns
		Error خطا	28	2.804	1.601	1.673	1.377	0.395	0.717
		CV (%) ضریب تغییرات		31.74	26.18	27.04	28.34	23.44	41.88

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.

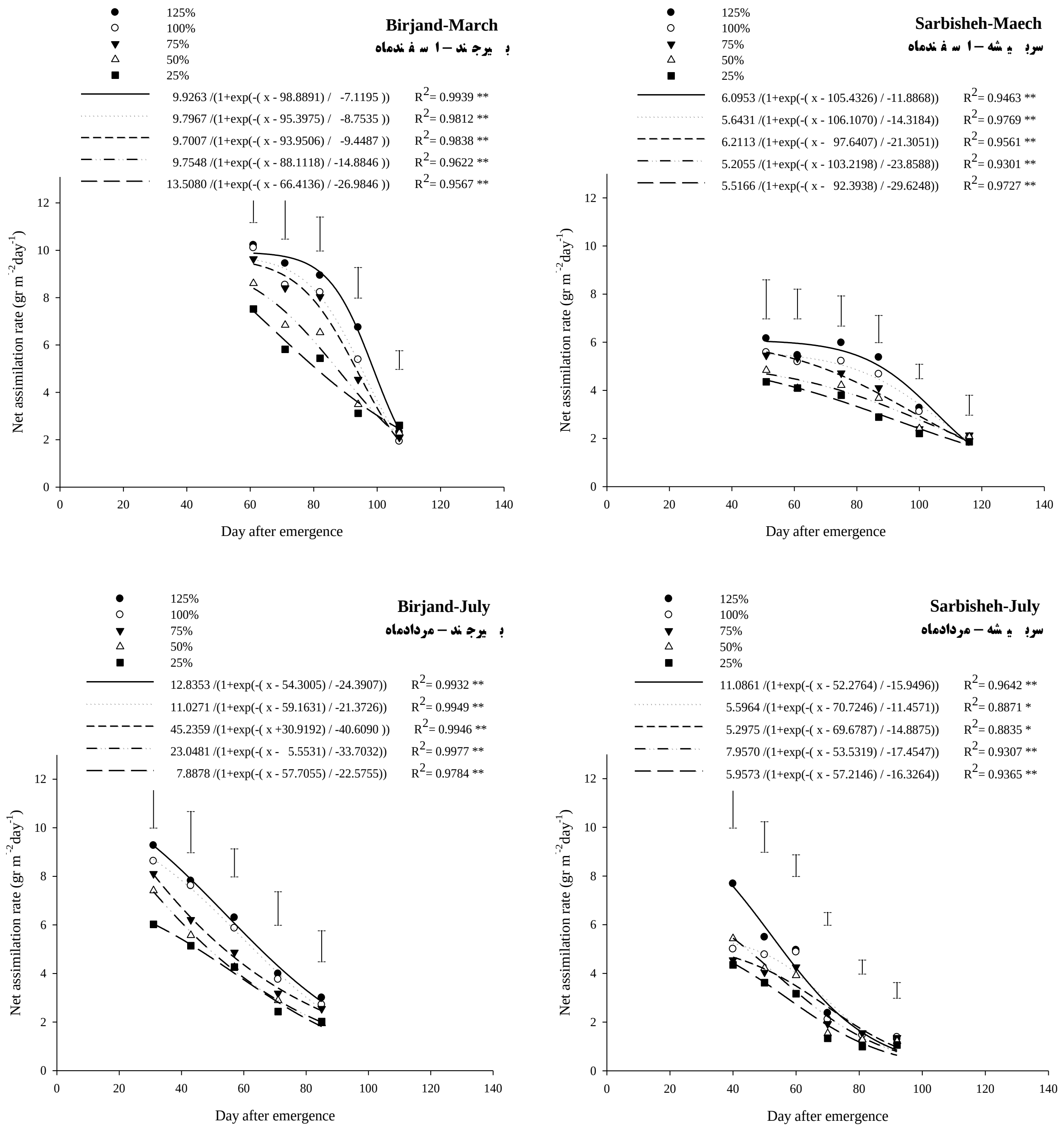


شکل ۷- روند تغییرات سرعت جذب خالص در ارقام کینوا در طول فصل رشد در دو مکان و دو زمان
(خطوط عمودی بالای هر مرحله نمونه‌برداری مقدار FLSD در سطح احتمال پنج درصد را نشان می‌دهد)

Figure 7- Net assimilation rate Changes of quinoa cultivars during the growing season in two locations and times (Vertical lines on each sampling represent FLSD value at the 5% level)

اثر سطوح رطوبتی بر روند تغییرات سرعت جذب خالص: بالاترین میزان سرعت جذب خالص در ابتدای فصل رشد، متعلق به سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی به میزان ۶/۱۶، ۱۰/۲۲، ۷/۶۸ و ۹/۲۷ گرم بر مترمربع برگ در روز به‌ترتیب در اسفندماه سربیشه و بیرجند و مردادماه سربیشه و بیرجند بود که با توجه به میزان LSD و نتایج تجزیه واریانس، این اختلاف تنها با سطح ۲۵ درصد نیاز آبی معنی‌دار گردید. درصد کاهش میزان NAR اولیه از سطح ۱۲۵ به ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی در کشت اسفندماه سربیشه به‌ترتیب ۹/۴۲، ۱۱/۳۴، ۲۱/۴۴ و ۲۹/۲۷ درصد، در کشت اسفندماه بیرجند به‌ترتیب ۱/۱۳، ۵/۷۴، ۱۵/۸۴ و ۲۶/۴۱ درصد، در کشت مردادماه سربیشه به‌ترتیب ۳۴/۹۲، ۴۰/۸۱، ۲۹/۳۱ و ۴۳/۳۹ درصد و درنهایت در کشت مردادماه بیرجند به‌ترتیب ۶/۹۵، ۱۲/۵۶، ۲۰/۰۴ و ۳۵/۰۵ درصد بود (شکل ۸ و جدول ۶). غیاث‌آبادی و همکاران (Ghiasabadi, Khajeh Hosseini, & Mohammadabadi,

2014) بیان نمودند که میزان جذب خالص با گذشت زمان ثابت نمی‌ماند و با افزایش سن گیاه یک افت نزولی در رشد نشان می‌دهد و این افت نسبی در محیط نامناسب و تنش خشکی و کمبود آب تسریع می‌شود.



شکل ۸- روند تغییرات سرعت جذب خالص در سطوح مختلف رطوبتی در طول فصل رشد در دو مکان و دو زمان
(خطوط عمودی بالای هر مرحله نمونه‌برداری مقدار FLSD در سطح احتمال پنج درصد را نشان می‌دهد)

Figure 8- Net assimilation rate changes in different humidity levels during the growing season in two locations and times (Vertical lines on each sampling represent FLSD value at the 5% level)

در مطالعه سلیمانی (Soleymani, 2017)، اثر تیمار آبیاری بر حداکثر سرعت اسیمیلاسیون خالص در سطح احتمال پنج درصد در

آفتابگردان معنی‌دار بود. بیشترین سرعت اسیمیلاسیون خالص در تیمار آبیاری ۱۸۰ میلی‌متر (۱۲/۵۱ گرم بر مترمربع در روز) حاصل شد که اختلاف آن آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر (۱۱/۰۱ گرم بر مترمربع در روز) معنی‌دار نبود. کمترین سرعت اسیمیلاسیون خالص در تیمار آبیاری معمول (۹/۴۰ گرم بر مترمربع در روز) حاصل شد که اختلاف آن صرفاً با تیمار آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر معنی‌دار نبود. حداکثر سرعت جذب خالص سیر نیز در شرایط تنش خشکی کاهش یافت به نحوی که میزان این شاخص در ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۴/۹۲، ۳/۷۱ و ۲/۶۶ گرم بر مترمربع برگ در روز بود (Akbari, Kafi, & Rezvan Beidokhti, 2017).

عملکرد دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات ساده رقم و سطوح رطوبتی بر عملکرد دانه در هر چهار آزمایش (p≤۰/۰۱) معنی‌دار بود اما اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۷).

در کشت مردادماه و در هر دو منطقه مورد مطالعه، رقم گیزاوان بیشترین عملکرد دانه (۲۶۰۸/۷۵ و ۲۰۷۳/۹۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در بیرجند و سربیشه) را تولید نمود اما در کشت اسفندماه،

رقم ردکارینا به‌صورت معنی‌داری دارای عملکرد دانه بیشتری نسبت به سایر ارقام بود به‌نحوی که عملکرد دانه رقم مذکور در منطقه بیرجند و سربیشه به‌ترتیب ۲۸۵/۴۹ و ۹۲۹/۰۸ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۸). اختلافات ژنتیکی در گیاهان و ارقام مختلف یک گونه، با تأثیر بر جذب نور، بر میزان فتوسنتز و عملکرد ارقام مختلف تأثیر دارد (Corraliza, Rplp, Lopez, & Moreno, 2019). جرفای و همکاران (Jorfi, Alavifazel, Gilani, & Ardakani, 2022) نیز با بررسی سه رقم کینوا بیان نمودند که وزن کل دانه در ارقام Giza1، Q26 و Titicaca به‌ترتیب ۳/۸۳، ۵/۲۴ و ۲/۵۴ گرم در بوته بود. شیتیکوا و همکاران (Shitikova, Kukharenkova, & Khaliluev, 2022) بررسی پنج ژنوتیپ کینوا گزارش نمودند که ارقام Cherry-Vanilla و Regalona بیشترین عملکرد دانه را به‌ترتیب به میزان ۲/۵۹ و ۲/۳۹ تن در هکتار تولید نمودند. در مطالعه دیگر، با مقایسه عملکرد دانه پنج رقم گزارش شد که بالاترین عملکرد دانه در ارقام Amarllia Maranagani، Salcedo-INIA و Amarllia-Sacaca به‌ترتیب به میزان ۴/۰۴، ۳/۹۹ و ۳/۹۵ تن در هکتار مشاهده شد (AlKhamisi *et al.*, 2021).

جدول ۷- تجزیه واریانس عملکرد دانه در دو مکان و زمان

Table 7- Analysis of variance of seed yield in two locations and times

S.O.V		Df	بیرجند Birjand		سربیشه Sarbisheh	
			مردادماه 8 August	اسفندماه 5 March	مردادماه 27 July	اسفندماه 8 March
Block	بلوک	2	185129.0 ns	2803.5 ns	919618.1 *	3125.6 ns
Cultivar	رقم	2	1370169.0 **	77725.0 **	3015022.5 **	102058.2 **
Moisture levels	سطوح رطوبتی	4	5794136.2 **	41024.8 **	8011785.5 **	1391890.1 **
C× M	رقم×سطوح رطوبتی	8	87840.1 ns	1872.5 ns	347186.9 ns	20020.3 ns
Error	خطا	28	94459.9	1678.9	230309	14632.3
CV (%)	ضریب تغییرات		13.2	18. 8	30.8	14.5

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.

بالاترین عملکرد دانه در هر چهار آزمایش، متعلق به سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی بود اما در کشت اسفندماه و در هر دو منطقه مورد مطالعه، بین سطوح ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طور کلی کاهش آبیاری از سطح ۱۲۵ درصد به سطوح ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی به‌ترتیب موجب کاهش ۱۲/۸۵، ۲۱/۸۳، ۴۵/۹۲ و ۶۰/۹۵ درصد در کشت مردادماه بیرجند، به‌ترتیب ۱۸/۶۳، ۳۸/۳۰، ۷۲/۸۸ و ۸۲/۰۶ درصد در کشت مردادماه سربیشه، به‌ترتیب ۱۰/۷۱، ۲۵/۶۴، ۴۲/۱۶ و ۵۵/۷۱ درصد در کشت اسفندماه بیرجند و به‌ترتیب ۱/۷۶، ۲۶/۵۶، ۵۲/۵۷ و ۷۴/۷۰ درصد در

کشت اسفندماه سربیشه گردید (جدول ۸). محمدی و همکاران (Mohammadi, Maleki, & Fathi, 2021) با بررسی سه سطح تنش خشکی بیان نمودند که تنش منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه کینوا گردید و عملکرد دانه در تیمارهای بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید به‌ترتیب ۱۸۷۶/۶۷، ۱۵۳۸/۰۸ و ۱۰۸۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار بود. سالک معراجی و همکاران (Salek Mearaji *et al.*, 2020) گزارش نمودند که بیشترین و کمترین عملکرد دانه کینوا با ۲۳۶۴/۷ و ۱۷۰۱/۸ کیلوگرم در هکتار، به‌ترتیب در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی به‌دست آمد و تنش خشکی سبب

کاهش ۲۸ درصدی عملکرد دانه گردید. براساس نظر ایشان، در شرایط تنش، کاهش در تعداد برگ و سطح برگ سبب کاهش فتوسنتز در گیاه شده و در نهایت عملکرد دانه کاهش پیدا کرده است.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات رقم و سطوح رطوبتی بر عملکرد دانه در دو مکان و زمان

Table 8- Mean comparison of cultivar and moisture levels effects on seed yield in two locations and times

Levels of experiment factor سطوح عامل‌های آزمایشی		بیرجند Birjand		سربیشه Sarbisheh	
		مردادماه 8 August	اسفندماه 5 March	مردادماه 27 July	اسفندماه 8 March
رقم Cultivar	Titicaca	2005.96 c	142.28 c	1289.09 b	775.51 b
	Redcarina	2346.29 b	285.49 a	1305.97 b	929.08 a
	Giza1	2608.75 a	226.70 b	2073.93 a	800.11 b
سطوح رطوبتی (نیاز آبی) Moisture levels (Water requirement)	125%	3236.59 a	298.21 a	2700.79 a	1212.10 a
	100%	2820.77 b	266.27 a	2197.60 b	1190.73 a
	75%	2530.15 b	221.75 b	1666.33 c	890.15 b
	50%	1750.42 c	172.50 c	732.52 d	574.94 c
	25%	1263.74 d	132.07 d	484.41 d	306.61 d

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون و فاکتور آزمایشی، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means in each column and each experiment factors followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که بالاترین میزان حداکثر LAI و CGR، بیشترین RGR و NAR در ابتدای فصل رشد و همچنین بیشترین عملکرد دانه در کشت اسفندماه در هر دو شهرستان مورد مطالعه، متعلق به رقم ردکارینا و در کشت مردادماه، متعلق به رقم گیزاوان بود. اعمال کم‌آبیاری نیز موجب کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه در هر چهار آزمایش گردید. در کشت اسفندماه، بین سطوح ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیازآبی اختلاف معنی‌دار در عملکرد دانه مشاهده نگردید اما در این اختلاف در کشت مردادماه معنی‌دار بود. عملکرد دانه تحت تاثیر روند تغییرات شاخص‌های رشدی قرار گرفت در زمان و مکان‌های مورد مطالعه قرار گرفت. براساس نتایج این پژوهش، کاربرد فرمول‌های تجربی که در کشورهای اروپایی کالیبره می‌گردند، برای مناطق خشک مانند استان خراسان جنوبی (خصوصاً در کشت مردادماه یا کشت تابستانه)، بدون استفاده از روش لایسیمتری اشتباه می‌باشد و به همین خاطر سطح ۱۲۵ درصد در این پژوهش، معادل با آبیاری کامل بود.

References

1. Abtali, Y., Baghestani, M. A., & Abtali, M. (2009). Competitive effect of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) on yield and growth indices of canola (*Berasica napus* L.) cultivars. *Weed Research Journal*, *1*(2), 63-72.
2. Akbari, S., Kafi, M., & Rezvan Beidokhti, S. (2017). Effect of drought stress on growth and morphological characteristics of two garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes in different planting densities. *Journal of Agroecology*, *9*(2), 559-574. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v9i2.62141
3. AlKhamisi, S. A., Nadaf, S. K., Al-Jabri, N. M., Al-Hashmi, K. S., Al-Shirawi, A. I., Khan, R. R., Al-Sulaim, H. A., & Al-Azri, M. S. (2021). Productivity of Quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) Genotypes across Different Agro-Ecological Regions of Oman. *The Open Agriculture Journal*, *15*, 98-109. https://doi.org/10.2174/1874331502115010098
4. Amer, S., Hassan, M., Ehsanullah, Shakeel, A. A., Mohsin, T., & Aziz, R. (2014). Growth and development of *Chenopodium quinoa* genotypes at different sowing dates. *Journal of Agricultural Research*, *52*(4), 535-546.
5. Amiri Deh Ahmadi, S. R., Parsa, M., Nezami, A., & Ganjeali, A. (2011). The effects of drought stress at different phenological stages on growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *1*(2), 69-84. (in Persian with English abstract).
6. Bagheri, M. (2018). *Handbook of quinoa cultivation*. Seed and Plant Improvement Institute Publication. 48 P. (In Persian).
7. Bahreininejad, B., & Razmjoo, J. (2014). Effects of water stress on physiological growth indices and phonological traits in Thymus kotschyanus Boiss. *Journal of Plant Process and Function*, *3*(7), 67-80. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1393.3.7.6.9
8. Baygi, Z., Saifzade, S., Shirani Rad, A. H., Valadabad, S. A. R., & Jafarinejad, A. (2017). Effects of planting date

on growth indices and yield and yield components spring wheat cultivars in Neyshabur. *Applied Field Crops Research*, *30*(2), 1-18. (In Persian). https://doi.org/10.22092/aj.2018.109088.1113
9. Bazile, D., Jacobsen, S. E., & Verniau, A. (2016 a). The global expansion of quinoa: trends and limits. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1-6. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622
10. Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M. S., Ba, D., Breidy, J., Hassan, L., Mohammed, M. I., Mambetov, O., Otambekova, M., Sepahvand, N. A., Shams, A., Souici, D., Miri, K., & Padulosi, S. (2016 b). Worldwide Evaluations of Quinoa: Preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1-18. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00850
11. Corraliza, M. G., Rplp, V., Lopez, M. L., & Moreno, G. (2019). Wheat and barley can increase grain yield in shade through acclimation of physiological and morphological traits in Mediterranean conditions. *Scientific Reports*, *9*, 9547. https://doi.org/10.1038/s41598-019-46027-9
12. Dadrasi, V. A., Aboutalebian, M. A., Ahmadvand, G., Mousavi, S. S., & Seyedi, M. (2012). Effect of on-farm seed priming and irrigation interval the on-growth indices of two corn cultivars (*Zea mays* L.). *Cereal Knowledge*, *5*(7), 67-88. (in Persian with English abstract).
13. De Oliveira Vergara, R., Martins, A. B. N., Pedo, T., Radke, A. K., Gadotti, G. I., Villela, F. A., da Motta Xavier, F., Eberhardt, P. E. R., Cavalcante, J. A., & Meneguzzo, M. R. R. (2019). Plant growth and physiological quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds grown in Southern Rio Grande do Sul, Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, *13*(5), 678-682. https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.05.p1240.
14. Esfandyari, J., & Fotokian, M. H. (2021). Relationships between some Morphological Traits with Grain and Plant Dry Weight in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotypes. *Plant Production Technology*, *21*(1), 135-146. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22084/PPT.2021.21704.1994
15. Fazeli, F., Akbari, G. A., Akbari, G. A., Naderi Arefi, A., & Benakashani, F. (2021). Response of different quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes to planting date in terms of morphological traits, yield and yield components in Garmsar region. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *52*(2), 41-49. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.303866.654725
16. Fghire, R., Anaya, F., Ali Issa, O., & Wahbi, S. (2017). Physiological and growth response traits to water deficit as indicators of tolerance criteria between quinoa genotypes. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, *8*(6), 2084-2093.
17. Fghire, R., Wahbi, S., Anaya, F., Ali Issa, O., Benlhabib, O., & Ragab, R. (2015). Response of quinoa to different water management strategies: field experiments and saltmed model application results. *Irrigation and Drainage*. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). 1-12. https://doi.org/10.1002/ird.1895.
18. Food and Agriculture Organization (FAO). (2023). https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL. [Online: 22 August 2023].
19. Ghiasabadi, M., Khajeh Hosseini, M., & Mohammadabadi, A. (2014). The Study of Transplanting Date on Growth Analyses and Forage Yield of Maize (*Zea mays* L.) under Mashhad Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(1), 137-145. (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v12i1.36650
20. Haghjoo, M., & Bahrani, A. (2015). Evaluating yield variations of corn (single cross 260) at different water regimes and nitrogen rates by using of growth indices. *Journal of Crop Ecophysiology*, *9*(2), 259-274. (in Persian with English abstract).
21. Hosseini, S. H., RahemiKarizaki, A., Biabani, A., Nakhzari moghaddam, A., & Taliey, F. (2020). Investigation of changes in physiological characteristics and yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under different cultivation date. *Crop Production*, *13*(2), 99-116. (In Persian). https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.17953.2325
22. Jacobsen, S. E. (2017). The scope for adaptation of quinoa in Northern Latitudes of Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203, 603-613. https://doi.org/10.1111/jac.12228
23. Jacobsen, S. E., Liu, F., & Jensen, C. R. (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.). *Horticultural Scientia*, *122*, 281-28. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.019
24. Jamali, S., Shaifan, H., & Sajadi, F. (2019). The effect of different seawater and deficit irrigation regimes on leaf properties of quinoa. *Water and Irrigation Management*, *8*(2), 177-191. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jwim.2018.249473.585
25. Javadi, H., Rashed Mohassle, M. H., Zamani, Gh. R., Azari Nasrabad, A., & Mossavi, Gh. R. (2006). Effect of plant density on growth indices of four grain sorghum cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *4*(2), 253-266. (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v4i2.1266
26. Jorfi, A., Alavifazel, M., Gilani, A., & Ardakani, M. R. (2022). Leaf Chlorophyll Changes and Morphological Features of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Cultivars by P-Zn Ratios in Greenhouse Condition. *Journal of Crop Nutrition Science*, *8*(1), 1-16.
27. Kakabouki, I. P., Roussis, I. E., Papastylianou, P., Kanatas, P., Hela, D., Katsenios, N., & Fuentes, F. (2019). Growth analysis of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to fertilization and soil tillage. *Not Bot Horti Agrobo*, *47*(4), 1025-1036. https://doi.org/10.15835/nbha47411657

28. Kansomjet, P., Thobunluepop, P., Lertmongkol, S., Sarobol, E., Kaewsuwan, P., Junhaeng, P., Pipattanawong, N., & Iván, M. T. (2017). Response of physiological characteristics, seed yield and seed quality of quinoa under difference of nitrogen fertilizer management. *American Journal of Plant Physiology*, *12*, 20-27. https://doi.org/10.3923/ajpp.2017.20.27
29. Karimi, M., & Azizi, M. (1997). Basic growth analysis. *Jahad Daneshgahi of Mashhad Prees*.111 P. (in Persian).
30. Kibe, A. M., Singh, S., & Kalra, N. (2006). Water–nitrogen relationships for wheat growth and productivity in late sown conditions. *Agricultural Water Management*, 84, 221-228. https://doi.org/10.4314/jagst.v7i1.31716
31. Koca, Y. O. (2021). Determination of the forage yield and growth parameters of maize (*Zea mays* L.) with quinoa (*Chenopodium quinoa*) intercropping at different plant mixtures. *Turk journal Field Crops*, *26*(1), 44-53. https://doi.org/10.17557/tjfc.877640
32. Mohammadi, F., Maleki, A., & Fathi, A. (2021). Effects of Drought Stress and Humic Acid on Plant Growth, Yield Quality and Its Components of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Crop Nutrition Science*, *7*(3), 11-23.
33. Molden, D., Murry-Rust, H., Sakthivandival, R., & Makin, I. (2001). *A water productivity framework for understanding and action*. Workshop on Water Productivity. Wadduwe, Sri Lanka, 12 -13 November.
34. Nadali, F., Asghari, H. R., Abbasdokht, H., Dorostkar, V., & Bagheri, M. (2022). Physiological Responses of Quinoa Varieties (*Chenopodium quinoa* Willd) to Hydropriming and Drought Stress. *Journal of Crop Production and Processing*, *12*(2), 49-62. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.47176/jcpp.12.2.36912
35. Nadeem, T. M. H., Imran, M., Kamil, F., & Husain, M. (2002). Evaluation of sunflower *Helianthus annuus* L. inbred lines for drought tolerance. *International Journal of Agriculture and Biology*, 25, 398-400.
36. Navabpour, S., Latifi, N., Hosseini, S. H., & Kazemi, G. (2012). Evaluation of grain yield in relation to yield components and growth indices in wheat. *Crop Production*, *4*(3), 157-173. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1390.4.3.9.5
37. Oneto, C. D., Otegui, M. E., Baroli, I., Beznec, A., Faccio, P., Bossio, E., Blumwald, E., & Lewi, D. (2016). Water deficit stress tolerance in maize conferred by expression of an isopentenyltransferase (IPT) gene driven by a stress- and maturation-induced promoter. *Journal of Biotechnology*, *220*, 66-77. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.01.014
38. Ozoni Davaji, A., Esfahani, M., Sami Zadeh, H., & Rabiei, M. (2008). Effect of planting pattern and plant density on growth indices and radiation use efficiency of apetalous flowers and petalled rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *9*(4), 382-400. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1386.9.4.7.9
39. Ramesh, K. Suneetha Devi, K. B., Gopinath, K. A., & Uma Devi, M. (2017). Physiological Indices, Yield and Yield Attributes of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as Influenced by Dates of Sowing and Varied Crop Geometry. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *6*(7), 1023-1034. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.123
40. Reguera, M., Conesa, C., Gil-Gómez, A., Haros, C., Pérez-Casas, M., Briones-Labarca, V., … & Bascuñán-Godoy, L. (2018). The impact of different agroecological conditions on the nutritional composition of quinoa seeds. *Peer-reviewed Journal*, *14*(6), 1-20. https://doi.org/10.7717/peerj.4442
41. Rowshani, R., Soleymani, A., Mahlooji, M., & Naderi, M. R. (2022). Evaluation of the effect of foliar application on some physiological indicators affecting the growth and yield of barley cultivars under drought stress conditions. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, *3*(2), 319-337. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/CSRAR.2022.297001.1111
42. Ruiz, K. B., Biondi, S., Oses, R., Acuña-Rodríguez, I. S., Antognoni, F., Martinez-Mosqueira, E. A., Coulibaly, A., Canahua-Murillo, A., Pinto, M., Zurita-Silva, A., Bazile, D., Jacobsen, S. E., & Molina-Montenegro, M. A. (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 349-359.
43. Sadeghizadeh, H., Khajoei-Nejad, G. R., & Ghanbari. J. (2021). Water use efficiency and quantitative and qualitative response of quinoa to different concentrations of salicylic acid application under deficit irrigation conditions. *Irrigation and Water Engineering*, *11*(43), 345-360. (in Persian).
44. Salek Mearaji, H., Tavakoli, A., & Sepahvand, N. A. (2020). Evaluating the effect of cytokinin foliar application on morphological traits and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under optimal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, *14*(4), 479-498. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.30495/jcep.2021.679976
45. Samadzadeh, A. R., Zamani, G. R., & Fallahi, H. R. (2020). Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. *Applied Field Crops Research*, *33*(1), 82-104. (In Persian). https://doi.org/10.22092/aj.2020.125793.1392
46. Sanodiya, L. K., Umesha, C., Mesharm, M. R., & Kumar, R. (2022). Influence of crop geometry and nitrogen levels on growth indices of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *The Pharma Innovation Journal*, *11*(3), 1003-1008.

47. Shahidi, A., Kashkuli, H. A. & Zamani, G. R. (2008). Interaction of deficit irrigation and salinity on yield and yield components of wheat cultivars and determining water salinity production function in the Birjand region. PHD Thesis. Shahid Chamran University of Ahwaz. 337 PP. (In Persian).
48. Shaifan, H., Jamali, S., & Sajadi, F. (2018). Investigation the effect of different salinity levels on the morphological parameters of quinoa *(Chenopodium quinoa Willd.)* under different iIrrigation regimes. *Journal of Water and Soil Science* (*Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*), *22*(2), 15-27. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/jstnar.22.2.15
49. Shirinnezhad, R., Torabi, M., & Mahmoudi, F. (2019). *Evaluation of compatibility of Quinoa cultivars in different planting dates and their effects on morphological, physiological and biochemical parameters*. 2nd international and 6th national conference on organic and conventional agriculture. University of Mohaghegh Ardabili. (in Persian with English abstract).
50. Shitikova, A. V., Kukharenkova, O. V., & Khaliluev, M. R. (2022). The Crop Production Capacity of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)- A New Field Crop for Russia in the Non-Chernozem Zone of Moscow's Urban Environment. *Agronomy*, *12*(12), 3040. https://doi.org/10.3390/agronomy12123040
51. Soleymani, A. (2017). Effect of drought stress on some physiological growth indices of sunflower cultivars. *Environmental Stresses in Crop Science*, *10*(4), 509-519. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2017.108.1028
52. Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S., & Jacobsen, S. E. (2014). Sensitivity of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *200*(1), 12-23. https://doi.org/10.1111/jac.12042
53. Vahedi, M. R., Tohidi Nejad, E., & Pasandi Pour, A. (2021). Evaluation of yield and yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in as affected by different planting densities. *Journal of Crop Ecophysiology*, *15*(4), 593-608. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.30495/jcep.2022.689808